Math. A.
165.n

Math. A. 165n

Merz

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

# Optik,

## besonders für Augenärzte.

---

Von

**Dr. L. Merz.**

München,
Verlag der literarisch-artistischen Anstalt.
1845.

160. B.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

# Inhalt.


| | Seite |
|---|---|
| Einleitung . . . . . . . . . . . | 1 |
| Katoptrik . . . . . . . . . . . | 16 |
| Dioptrik . . . . . . . . . . . | 27 |
| Von optischen Instrumenten . . . . . . . | 46 |
| Ueber Beugung und Polarisation . . . . . | 51 |
| Vom Auge . . . . . . . . . . . | 57 |
| Vom Sehen . . . . . . . . . . . | 61 |
| Fehlerhaftes Sehen . . . . . . . . . | 78 |
| Von den Gesichtstäuschungen . . . . . . | 88 |

# Optik,

## besonders für Augenärzte.

---

Man hat bisher das Licht als Ursache des Sichtbarwerdens der Dinge definirt. Da aber die neueren Entdeckungen über die chemische Wirkung unsichtbarer Strahlen durch Moser das Vorhandenseyn von Licht, welches unserm Gesichtssinn entgeht, zu beweisen scheinen, so muß das Licht als allgemeine Action aller Körper auf einander, oder nach philosophischer Terminologie als ein Sichselbstoffenbaren der Körper nach außen definirt werden, und wenn es noch eine Substanz genannt werden kann, so ist es gewiß die einfachste und feinste die man sich denken kann. Die alltäglichste Wahrnehmung, die wir vom Lichte haben, ist daß es uns den ganzen Kreis der Sinnenwelt, der bei dessen Mangel durch andere Sinne minder gut wahrgenommen wird, unter verschiedenen Modificationen oder Farben sichtbar macht. Wie wohlthätig diese Wirkung ist, bemerken wir z. B. an den Halbblinden, welche noch einen Schein von Licht haben und sich allzeit darnach sehnen. Das Licht versetzt ferner oxydirte Körper in ihren ursprünglichen Zustand, wobei Sauerstoff frei wird, es übt also reducirende Kraft: z. B. färbt es concentrirte Salpetersäure gelb und roth; aus Goldauflösungen wird Gold durchs Licht ausgeschieden; ein Gemenge von gleichen Theilen Chlorgas und Wasserstoffgas gibt am

Licht mit Verpuffung Salzsäure. Silbersalze, besonders Horn- oder Chlorsilber werden geschwärzt, und darum zur Erzeugung der Daguerreotype angewendet. Hält man nämlich eine silberplattirte Kupferplatte über Chlorjod, bis sie durch dessen Dämpfe eine schöne goldgelbe Farbe annimmt, und bringt sie dann in eine Camera obscura an den Ort der Brennweite einer starken Linse, welche gegen die außenstehenden Gegenstände gerichtet ist, so wirken die hellern Punkte dieser Gegenstände stärker auf die jodirte Platte, als die minder hellen. Setzt man darnach die Platte den Dämpfen von gehörig erwärmtem Quecksilber aus, so werden eben die vom Lichte stärker angegriffenen Stellen mehr mit Dampf beschlagen, und erscheinen darum weißer als die andern, so daß man ein deutliches Bild des Gegenstandes erhält, welches noch durch Waschen in Salzwasser oder durch galvanische Vergoldung dauerhafter gemacht wird. Jedoch nicht nur von gutbeleuchteten Gegenständen kann man solche Bilder erhalten, sondern selbst im finstern Zimmer. Bringt man nämlich in ganz geringer Entfernung von einem Relief, z. B. über einer Münze die jodirte Platte an, läßt sie einige Zeit darüber stehen, und setzt sie dann den Quecksilberdämpfen aus, so erscheint auf der Platte das Bild der Münze. Es ist dieß die Wirkung des Moser'schen sogenannten unsichtbaren Lichtes, das wohl allen Körpern inwohnt, zwar nur auf kleine Distanzen wirkt, aber immerwährende Veränderungen in der Natur veranlaßt. Auch Wärme und Electricität wirken ähnlicherweise. Man hat bereits auf Glas, unter welchem sich lange Zeit ein Kupferstich befand, dessen Bild gefunden, ja selbst einige subjective

Lichterscheinungen, wie die anhaltenden Funken im Auge, auf die wir später kommen, scheinen solchem Lichte zuzuschreiben. Vom farbigen Lichte besitzt die violette Farbe am meisten chemische Kraft, während z. B. die rothe oft erst dann wirkt, wenn die violette bereits angegriffen hat. Die magnetische Wirkung des Lichtes scheint mit der chemischen zusammenzuhängen. Das Licht ist ferner den organischen Wesen zu ihrer vollkommenen Ausbildung unentbehrlich. Bei seinem Mangel verlieren Pflanzen an Farbe und Festigkeit, daher die untere Seite der Blätter rauher und weißlicher ist als die obere von der Sonne bestrahlte; durchs Licht werden die Pflanzen aromatischer und die Thiere lieben darum nicht die im Schatten gewachsenen; die Pflanzen streben immer nach oben zum Licht empor, und werden sie daran gehindert, so machen sie Beugungen oder Knie um wieder nach oben zu gelangen, daher man schlankes Holz an recht dunklen Stellen der Forste erzielen muß; manche Pflanzen erschließen auch bei Tag dem Licht ihre Blätter, die sie bei Nacht zusammenfalten. Die organischen Wesen verdanken überhaupt dem Lichte Farbe, Lebhaftigkeit und Gedeihen, daher die Schönheit des Gefieders der tropischen Vögel und Insecten, daher die bekannte wohlthätige Wirkung des Sonnenbades auf Genesende, zumal bei kachektischen Krankheiten. Merkwürdig ist übrigens, daß die Entstehung organischer Wesen an die Finsterniß, wenn anders diese vermöge des unsichtbaren Lichtes nicht stets eine relative ist, sich bindet; denn Samen und Embryos müssen in ihrer ersten Entwicklung von undurchsichtigen Körpern umgeben seyn. Welchen Antheil an der Wirkung obiger

Erscheinungen indeß die Wärme hat, wäre interessant zu untersuchen, doch muß dieser Gegenstand auf die allgemeine, zum Theil auch auf die medicinische Physik überwiesen werden.

Ueber die Natur des Lichtes hat man allerlei Hypothesen gemacht; die haltbarsten davon sind die Emanations- und die Vibrationshypothese. Jene hält das Licht für unwägbare Körperchen, welche von einem leuchtenden Gegenstand ausgeworfen werden; diese für die Schwingungen eines überall verbreiteten Aethers. Letztere ist seit mehreren Jahren durch ausgedehnte mathematische Entwicklungen zu großem Ansehen erhoben worden, wir aber wollen in jenen Schwingungen oder Aetherwellen nur den Weg des Lichtes sehen, und uns indessen der Erklärung der Natur des Lichtes entschlagen, also eben irgend ein Lichtprincip annehmen. Quellen des Lichtes sind die selbstleuchtenden Körper, nämlich:

1) die Sonne und die Fixsterne.

2) Die brennenden Körper, oder das besonders durch Sauerstoff genährte Feuer.

3) Die Phosphorescenz sowohl von unorganischen als von organischen Stoffen. Leuchtsteine, z. B. Calciumsulphurid, leuchten eine Zeitlang, nachdem sie der Sonne ausgesetzt worden, im Dunklen; Flußspath wird durch Wärme leuchtend. Das faule Holz, manche Insecten, besonders bei größerer Lebensthätigkeit, dann auch das Meerwasser leuchten durch Phosphorescenz, und der Mond scheint auch zu phosphoresciren.

4) Elektricität. Das Licht beim Krystallisiren mancher Minerale scheint ein elektrisches.

Alle übrigen Körper welche noch leuchten, borgen

ihr Licht aus den ebengenannten Quellen, indem sie das Licht, das auf sie fällt, nach allen Seiten zerstreuen und dadurch sichtbar werden, so die Planeten ꝛc. Einige von diesen an sich dunkle Körper lassen das fremde Licht durch sich hindurch gehen, so daß man die hinter ihnen befindlichen Gegenstände in allen Theilen sieht, sie heißen durchsichtig, z. B. Luft, Glas ꝛc.; andere schwächen das Licht beim Durchgehen so, daß man nur noch die Wahrnehmung des Lichtes selbst, aber nicht die des dasselbe aussendenden Gegenstandes erhält, und dieß sind durchscheinende, z. B. mattes Glas, geöltes Papier; es gibt aber auch Körper die kein Licht durchlassen und Schatten werfen, also undurchsichtige.

Das Licht gelangt nicht augenblicklich und ohne allen Zeitunterschied vom Object zum Auge, vielmehr braucht es, um einen bestimmten Weg zu durchlaufen, eine gewisse, wenn auch geringe Zeit. Dieß ward aber erst durch den dänischen Astronomen Römer entdeckt, welcher die Jupiterstrabanten nach ihrer Verfinsterung einige Minuten später sah, als sie nach der Rechnung hätten erscheinen sollen, was nur einer Verzögerung ihres Lichtes zugeschrieben werden konnte. Das Licht braucht nun, um von der Sonne zur Erde zu kommen, nämlich einen Weg von 20 Millionen Meilen zurückzulegen, 8′ 13″, durchläuft also in einer Secunde mehr als 40,000 Meilen. Der schnellste Vogel brauchte um die Erde herum drei Wochen, das Licht eine Zeit, die kürzer als ein einziger Flügelschlag.

Ein leuchtender Punkt sendet nach allen Seiten Strahlen, denn er wird von allen Seiten gesehen; ein einzelner Strahl bewegt sich aber in gerader Linie, denn wollen wir

ein Licht durch mehrere Oeffnungen von demselben Standpunkt aus sehen, so kann dieß nur geschehen, wenn diese Oeffnungen gegen das Licht hin in gerader Richtung hintereinander stehen. Die Strahlen eines und desselben Punktes divergiren von diesem Punkte aus, und nur wenn er sehr weit entfernt ist, können benachbarte Strahlen wegen ihres kleinen Steigungswinkels als parallel angesehen werden. Die Gestalt der von einem leuchtenden Punkt aus auf eine bestimmte Ebene fallenden Lichtmasse ist die einer Pyramide, welche ihre Spitze im leuchtenden Punkt und die Ebene zur Basis hat. Tritt ein undurchsichtiger Gegenstand dem Licht in den Weg, so entsteht hinter demselben ein lichtloser Raum oder Schatten, der die Fortsetzung der vorigen Pyramide ist. Je heller das Licht, desto dunkler der Schatten; wirft aber noch ein zweiter entfernter Punkt nach der Gegend des Schattens hin Licht, so wird allerdings in der Fortsetzung der Pyramide, die er mit der bekannten Ebene bildet, Schatten seyn, doch wird das erste Licht einen Theil seines Schattens beleuchten, und er selbst wird einen Theil des ersten Schattens beleuchten. Wo gar kein Strahl von beiden Lichtern hinkömmt, entsteht nun Kernschatten, wo nur ein Licht leuchtet, Halbschatten, und wo beide Lichter zusammenwirken, ist ganz lichter Raum. Aus der Größe des Schattens kann man auch die Höhe der Gegenstände messen, sowie den Stand der Sonne 2c. Je näher das Licht, desto länger der Schatten, so auch je größer der hemmende Gegenstand. — Auf der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes beruht auch die Perspective, oder die Wissenschaft Gegenstände so zu zeichnen, wie sie von einem gegebnen

Standpunkt aus erscheinen. An einem Gewölbe müssen z. B. die untern Theile des Bildes ausgedehnter seyn als die obern, und um ein Gemälde gut zu beurtheilen, muß man es auch aus der rechten Stellung, vom rechten Augenpunkt aus betrachten. Die Linearperspective bezieht sich auf die geometrische Gestalt der Körper, die Luftperspective auf ihren Schatten und ihre Farbe.

Jeder leuchtende Körper kann als eine Summe von Punkten angesehen werden, deren ein jeder selbst nach allen Richtungen Licht aussendet. Da dieß aber nicht von allen mit gleicher Stärke geschieht, so muß man eigentlich jedem Strahle eine eigne Leuchtkraft zuschreiben. Die Beleuchtung, welche eine sehr kleine Fläche empfängt, hängt nun von der Menge der auf sie Licht sendenden Punkte ab, und weil mit der Entfernung ein Strahlenbüschel sich auf einen größern Raum vertheilt, in diesem Verhältniß folglich die Beleuchtung abnimmt, so hängt sie auch nach geometrischen Grundsätzen vom Quadrat der Entfernung ab. Ist die beleuchtete Fläche so groß, daß die Entfernungen ihrer Punkte vom leuchtenden Ort verschieden sind, so muß man dafür die Summe der Beleuchtungen der einzelnen Punkte nehmen. Wenn nun die Fläche auch noch schief gegen die einfallenden Strahlen liegt, so wird ihre Beleuchtung im Verhältniß vom Sinus des Neigungswinkels der Strahlen kleiner, da diese sich alsdann auf einen größeren Raum zu vertheilen haben. Bei gleicher scheinbarer Größe, gleichem Glanze des leuchtenden Gegenstandes, und gleicher Neigung der auffallenden Strahlen wird auch die Erleuchtung dieselbe bleiben. Die Saturnbewohner sehen ein relativ eben so großes Stück

der Sonne in gleichem Glanze, wie wir. — Die Sonne erscheint uns in ihrer ganzen Ausdehnung in der Mitte und am Rande von gleichem Glanze, und doch sind wegen ihrer Kugelgestalt die Theile die unter gleichem Sehwinkel gesehen werden desto größer, je weiter sie von der Mitte ab liegen. Demgemäß sollte auch die Lichtmenge gegen den Rand zunehmen; da aber der Erfahrung nach dennoch die Wirkung die gleiche bleibt, so muß die Intensität der einzelnen seitwärts liegenden Theilchen sogar abnehmen, je größer sie sind, und daraus findet man noch, daß die Intensität der Strahlen den Sinussen der Ausflußwinkel proportionirt ist.

Um den Grad der Erleuchtung zu messen, hat man eigne Werkzeuge, Photometer, gemacht. Die Lichtmessungen haben indeß ihre Schwierigkeiten, denn

1) muß der Maaßstab eine unveränderliche Größe seyn; aber wir kennen kein Licht, dessen Intensität zu allen Zeiten gleich bliebe, und wir sind jedesmal, so oft wir photometrische Untersuchungen vornehmen, genöthigt, irgend ein für die Dauer derselben möglichst gleichförmiges Licht als Einheit anzunehmen.

2) Der Maaßstab soll auch mit der zu messenden Größe möglichst gleichartig seyn; nun lehrt die Erfahrung, daß die Färbung des Lichtes äußerst mannichfaltig ist, so daß es schwer hält zwei ganz gleichfarbige leuchtende oder erleuchtete Körper zu finden, und jede Farbenverschiedenheit begründet eine Art von Ungleichartigkeit.

3) Wir können über den Grad der Erleuchtung nur nach dem Eindruck urtheilen, den sie in unserm Auge hervorbringt; aber unser Auge erfreut sich nicht der Fähigkeit, bei der Betrachtung zweier erleuchteter

Flächen zu entscheiden, wie vielmal die eine mehr als die andre erleuchtet ist. Glücklicher Weise besitzt es doch das Vermögen die Gleichheit oder Ungleichheit zweier zugleich gesehener Erleuchtungen mit mehr Sicherheit zu bestimmen, daher in den gebräuchlichen Photometern die Erleuchtungen zur Gleichheit gebracht werden. Das Rumford'sche nun basirt auf der Gleichheit der Schatten, das von Ritchie auf dem gleichen Durchscheinen durch geöltes Papier bei verschiedner Entfernung der Lichter. Lampadius schwächte das stärkere Licht durch Hintereinandersetzung von durchscheinenden Platten, deren Zahl die Differenz beider Lichtintensitäten gibt, und dieß scheint das einfachste. Saussure schätzte die Stärke des Lichtes nach der Menge des aus wässerigem Chlor durch seine Einwirkung entwickelten Oxygens; Landriani nach der Schwärzung von Hornsilber; Leslie nach der Erwärmung des Differentialthermometers, dessen eine Kugel er schwarz anstrich, damit sie mehr Wärme absorbirte; Quetelet aus der Schwächung durch Spiegel; de Maistre durch Uebereinanderschiebung zweier keilförmiger Prismen; Lipowitz nach der Größe der Pupille des Auges; Steinheil erfand einen Lichtmesser für Sternbeobachtungen, und der empfindlichste ist wohl der von Schafhäutl, welcher auf der Wahrnehmung einer Oeffnung in einer schwingenden Stahlfeder beruht. Die Erleuchtung darf nie so stark seyn, daß sie blendet, noch so schwach daß das Auge angestrengt wird; die erzeugten Beleuchtungen sollen auch in den ersten zwei der obigen Photometer möglichst gleichzeitig mit demselben Auge betrachtet werden, und alles fremde Licht muß entfernt seyn.

Durch gerade fortgehende Strahlen können Bilder

von den Gegenständen von welchen sie ausgehen, erzeugt werden. Denkt man sich im Fensterladen eines dunklen Zimmers ein Löchlein, so wird von jedem außen befindlichen Lichtpunkt ein Lichtkegel durch dasselbe gesendet, der auf der Hinterwand einen runden Kreis beschreibt. Je kleiner die Oeffnung und je näher an ihr die Wand ist, desto gesonderter, desto deutlicher erscheinen die Bilder der außen befindlichen Punkte und Gegenstände, aber jeder also abgebildete Gegenstand erscheint in verkehrter Lage, wie die Zeichnung des Weges der Strahlen leicht nachweist. Man sieht in dieser sogenannten dunklen Kammer, Camera obscura von Porta, die Gegenstände auch nach entgegengesetzter Richtung sich bewegen. Fällt in dieser Weise das Sonnenbild auf die Hinterwand, so ist sein mittlerer Theil heller als der Rand, weil von allen Theilen der Sonne in der Mitte mehr Sonnenstrahlen zusammentreffen als am Rand, wohin nur die schiefer einfallenden Strahlen gelangen; durchs Laub der Bäume sieht man bisweilen solche Sonnenbilder, die auch bei nicht runden, sehr kleinen Oeffnungen noch rund sind. Die beleuchteten Staubtheilchen sind in einer ähnlichen Erscheinung sichtbar.

Wenn der Lichtstrahl zu einem von jenem, in welchem er sich befand, ungleichartigen Mittel gelangt, so erleidet er in Richtung und Stärke auffallende Veränderungen; denn

1) wird er an der Trennungsfläche in zwei Theile getheilt, wovon der erste ins frühere Mittel zurückkehrt, der andere aber in das neue Mittel eintritt.

2) Von dem erstern wird wieder ein Theil am Auffallspunkt zerlegt und nach allen Seiten hin zerstreut, wodurch erst dieser Punkt, freilich schwächer glän-

zend, sichtbar wird. Der übrige Theil des zurückkehrenden Lichtes wird regelmäßig nach einer bestimmten Richtung zurückgeworfen, und erzeugt in dieser Richtung ein Bild des Lichtpunktes, dessen Glanz den annoch zusammenwirkenden Strahlentheilen entspricht. Letzteres heißt Reflexion, und kann nur an sehr glatten Flächen vorkommen.

3) Die Lichtmenge, welche ins neue Mittel gedrungen ist, erleidet darin eine bestimmte Aenderung ihrer vorigen Richtung, oder eine Brechung; wenn aber ein Lichtbündel sich dabei in zwei besondere theilt, so gibt dieß eine doppelte Brechung von ungleicher Stärke.

4) Das regelmäßig gebrochene, weiße oder gelbe Licht erfährt bei der Brechung zugleich eine eigenthümliche Modification, d. h. eine sich ausbreitende verschiedenartige Färbung, welche man Farbenzerstreuung, Dispersion nennt. Nur Licht von derselben Farbe ist homogen.

5) Gelangt der gebrochene Lichtstrahl an eine zweite Gränzfläche des Mittels, so erleidet er dieselbe Theilung wie beim Eintritt; es wird abermals ein Theil austreten, der andere gegen die erste Gränze zurückgeworfen, da von neuem getheilt u. s. f. Daraus geht hervor daß in jedem Mittel ein Theil des eingedrungenen Lichtes, nämlich das im Innern zerstreute Licht zurückbleibt oder absorbirt wird. Da im Innern des Mittels meistens viel ungleichartige Theile vorhanden sind, so wird die Zerstreuung fast an allen Stellen, und darum sehr große Lichtschwächung stattfinden; dunkelfarbige, rauhe Körper absorbiren am meisten.

6) Die Lichtstrahlen können auch gegenseitig aufeinander einwirken, sich verstärken und schwächen oder gar aufheben. Dieß ist die Interferenz. Gehen aber

Lichtstrahlen an den Kanten eines dünnen Körpers vorbei, so erleiden sie auch eine Ablenkung oder Beugung.

7) Läßt man einen gebrochnen oder reflectirten Strahl unter einem gewissen Winkel auf eine polirte Fläche fallen, so erscheint, je nachdem er mit dieser oder jener seiner Seiten auffällt, eine oder keine Reflexion; er ist also dadurch in seinen Eigenschaften modificirt, was man Polarisation nennt.

Aus dem hier Gesagten folgt nun weiter:

1) Die Richtung des Strahles kann nur so lange geradlinig bleiben, als er sich in einem Mittel von gleicher Beschaffenheit bewegt.

2) Beim Durchgang durch ein Mittel erleidet er um so mehr Intensitätsverlust, je länger der darin zurückgelegte Weg ist. Stellen wir uns mehrere gleichartige Schichten vor, in deren jeder ein nter Theil des Lichtes verschluckt werde, die anfängliche Intensität sey J, so wird in der ersten Schicht $\frac{J}{n}$ verloren, also noch $J - \frac{J}{n}$ behalten; in der zweiten Schicht ist der Verlust $\frac{J - \frac{J}{n}}{n}$

und es bleibt noch $J\left(1 - \frac{1}{n}\right) - J\frac{\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{n} =$

$$\frac{J\left(1 - \frac{1}{n}\right)\left(n - 1\right)}{n} = J\left(1 - \frac{1}{n}\right)\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Nach der dritten Schichte ist daher die Intensität noch $= J\left(1 - \frac{1}{n}\right)^3$ und nach der mten $= J\left(1 - \frac{1}{n}\right)^m$.

Es nimmt also die Lichtstärke beim Durchgang durch ein Mittel in geometrischer Progression ab, wenn die Dicke dieses Mittels eine arithmetische bildet. — Aus einer solchen Reduction oder Absorption durch die Luftschichten ist erklärlich, daß wir in der Tiefe weniger Sterne sehen als auf Bergeshöhe. In der Tiefe von 150 Fuß sieht der Taucher die Sonne nicht heller als außer dem Wasser den Mond. Daher auch Schatten und Licht in den Porcellanbildern.

3) Die Erleuchtung einer Fläche ist um so geringer, sie selbst um so dunkler, je weniger Licht sie zerstreut, je mehr sie absorbirt; und Spiegel können an sich sehr dunkel seyn, weil Zerstreuung und Reflexion wohl zu unterscheiden ist, denn nur nach ersterer richtet sich der Grad der Weiße. Die Reflexion wird aber um so größer,

a) je glätter, je besser polirt die Fläche des spiegelngelnden Körpers ist;

b) je stärker der Unterschied im Brechungsvermögen der 2 aneinander gränzenden Mittel ist. Glas reflectirt daher in Luft mehr als Wasser, und Metalle spiegeln sehr gut;

c) je schiefer die Strahlen auffallen, wie schon das schiefe Hinschauen lehrt; wir sehen auch die Reflexion um so besser, je näher wir ihrer Richtung sind;

d) die Durchsichtigkeit des Mittels scheint keinen Einfluß zu haben, denn Wasser spiegelt ebenso gut als Dinte, und ist ebenso glänzend.

Was 4) die Durchsichtigkeit anbelangt, so ist, um den lichtgebenden Körper in gehöriger Form erscheinen zu lassen, nothwendig:

a) daß der ins Mittel tretende Lichttheil intensiv genug, daß daher auch der Unterschied im Brechungsvermögen nicht zu groß sey, weil sonst zu viel reflectirt würde.

b) Daß das durchsichtige Mittel möglichst gleichartig sey, damit nicht durch theilweise Reflexion das Licht stark geschwächt werde. Geöltes Papier ist durchsichtiger, weil die minder brechende Luft dadurch aus den Poren verdrängt ist. Ob Edelsteine Risse haben, sieht man in Sasafrasöl leichter. Mattes Glas wird durchsichtiger wenn es mit Terpentin bestrichen wird, und zwei Glasplatten die durch Luft getrennt sind, lassen nicht soviel Licht durch, als wenn Wasser oder Harze dazwischen sind; so auch beim Hydrophan. Ein vollkommen durchsichtiger Körper könnte gar nicht gesehen werden, weil seine Theile kein Licht zerstreuen würden, also kein Licht von ihm ins Auge käme. Es gibt aber keinen vollkommen durchsichtigen Körper, denn selbst die Luft erscheint in größerer Masse blau, ebenso wenig als es einen ganz undurchsichtigen gibt, denn dünn geschlagenes Gold läßt noch grünes Licht durchscheinen.

## Katoptrik.

Die Lehre von den Erscheinungen der Reflexion des Lichtes heißt: Katoptrik von *κάτοπτρον*, der Spiegel. Es sey Fig. 1. M N ein Durchschnitt der zurückwerfen-

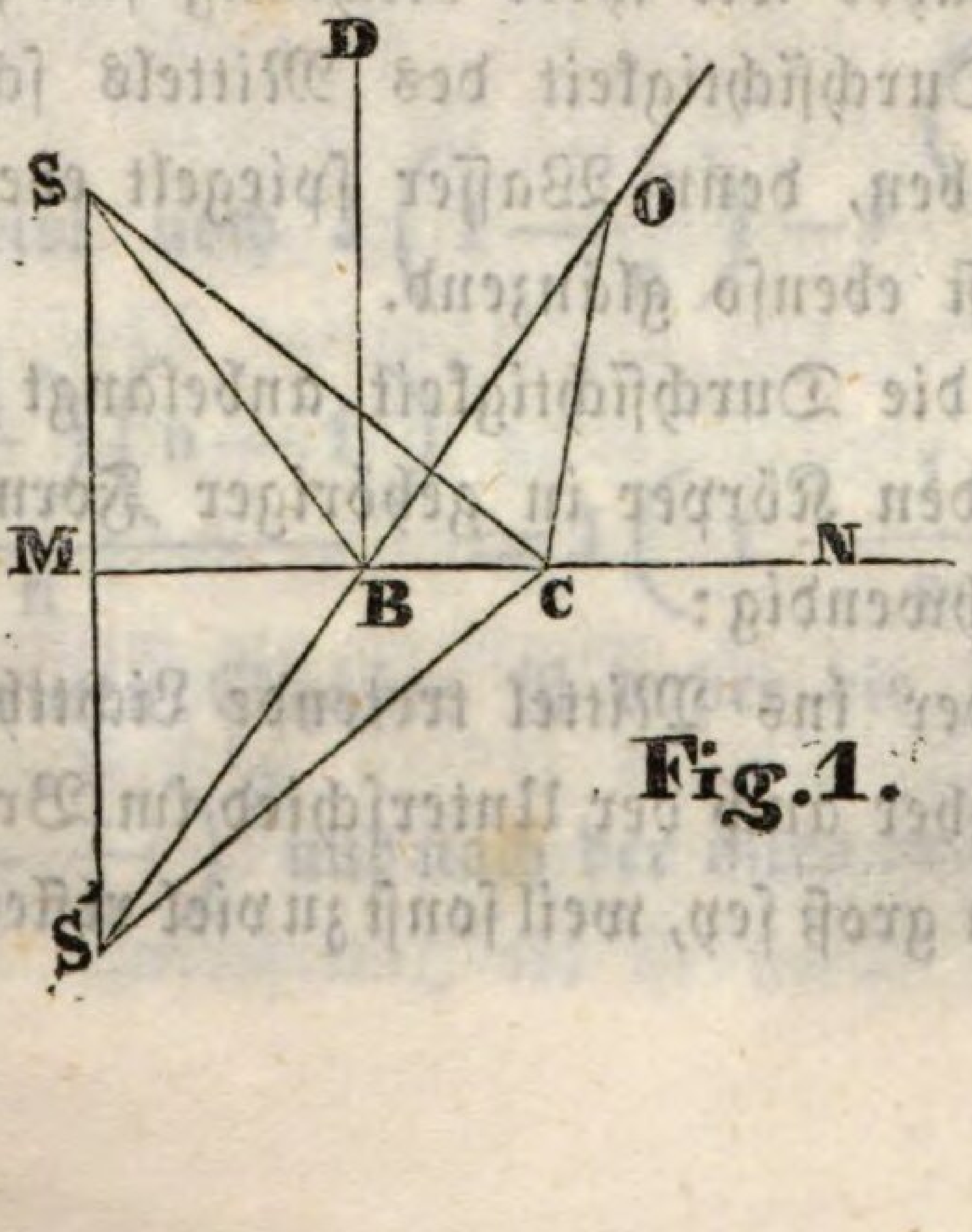


Fig. 1.

den Fläche, S B der einfallende Strahl, so nennt man die Senkrechte B D im Auffallspunkt das Einfallsloth; den Winkel S B D, den dieses mit dem einfallenden Strahl bildet, Einfallswinkel, seine Ebene Einfallsebene, und den Winkel des Lothes mit dem reflectirten Strahl Reflexionswinkel. Die Erfahrung lehrt uns nun

1) der einfallende, der reflectirte Strahl und das Einfallsloth befinden sich in ein und derselben Ebne oder die Einfallsebne fällt mit der Reflexionsebne zusammen;

2) der Reflexionswinkel liegt auf der andern Seite vom Einfallsloth und ist gleich dem Einfallswinkel. Die Natur geht hiebei nach dem Gesetz der Sparsamkeit zu Werk, denn in dem △ O C S′ ist O S′ offenbar kleiner als O C und C S′ zusammen. Wenn der Lichtstrahl eine krumme reflectirende Fläche trifft, so kann man einen unendlich kleinen Theil am Einfallspunkt als eine Ebne annehmen, die mit der durch diesen Punkt gehenden Berührungsfläche zusammenfällt, und die Reflexion geschieht nach denselben Gesetzen, nach welchen sie auf der berührenden Ebne vor sich gehen würde. Ein Spiegel ist eine jede Fläche, welche die Eigenschaft besitzt, die Gegenstände, von welchen sie Licht erhält, sichtbar zu machen, und der Gestalt nach hat man ebne und gekrümmte, von denen wir einzeln sprechen müssen. Wasser und Quecksilber sind natürliche Spiegel, künstliche aber müssen aus einem Stoff seyn, der sich gut poliren läßt, und am besten von weißer Farbe ist. Gewöhnlich sind sie aus Glas, das von hinten mit Zinn-Amalgam überzogen ist, und von beiden Seiten gut polirt seyn soll, damit das Licht nicht verschiedent-

lich durch unregelmäßige Stellen zerstreut wird. Doch machen diese Spiegel zwei Bilder, und man nimmt, wenn man solches vermeiden will, lieber schwarzes Glas oder Metall, welches dauerhafter ist, besonders wie die Alten Silber, oder auch Platin. Gute Spiegelcompositionen erhält man aus Kupfer, Zinn und Messing mit einigem Beisatz von Arsenik, welcher der schnellen Oxydation wehrt.

Fällt vom Punkte S Fig. 2. ein leuchtender Strahl

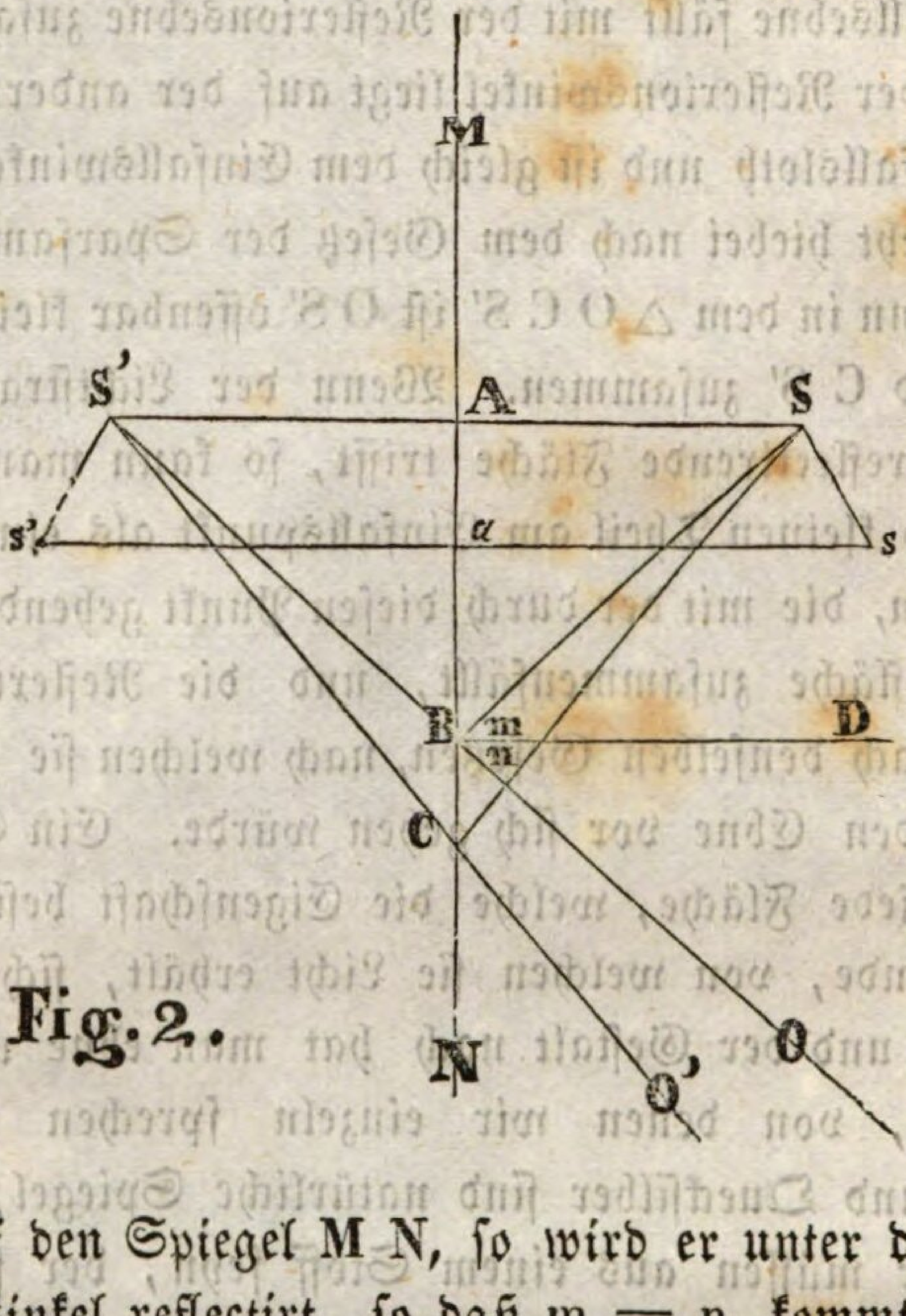


Fig. 2.

S B auf den Spiegel M N, so wird er unter dem gleichem Winkel reflectirt, so daß m = n, kommt also in der Richtung B O ins Aug; ein zweiter Strahl wird ebenso in C nach O' reflectirt; alle reflectirten Strahlen von einem und demselben Punkt S schneiden sich aber hinter dem Spiegel verlängert im Punkt S'. Nun

ist A B = A B

S' A B = S A B = r

N B O = 90 — m = S B A = S' B A

also △ S' A B ≌ △ S B A

das gleiche gilt von den △ A C S und A C S', daher S A = S' A, d. h. das Bild des Punktes liegt ebenso-weit hinter dem Spiegel als der Punkt selbst davor liegt, und das Auge empfängt den Strahlenkegel O S' O'. Ebenso liegt das Bild von s in der verlängerten Senkrechten in s', und da solches von allen Punkten eines Gegenstandes gilt, so folgt für ein katoptrisches Bild

1) es erscheint deutlich, wenn die von einem Punkt kommenden Strahlen so reflectirt werden, als kämen sie wieder von einem einzigen Punkt;

2) die Helligkeit wird geringer seyn als die des Gegenstandes, weil auch die besten Spiegel nicht so eben sind, daß sie alles Licht nur nach einer Richtung reflectiren, vielmehr meistens ⅓ des auffallenden Lichtes verschlucken;

3) Bild und Gegenstand S s und S' s' sind gleich groß, wie man aus der Figur ersieht und beweisen kann; deßgleichen sind ihre Neigungen gegen den Spiegel die gleichen, nur gehen dieselben nach entgegengesetzten Richtungen. Wenn daher ein Spiegel gegen einen Gegenstand unter 45° geneigt ist, so muß auch das Bild den gleichen Winkel mit dem Spiegel, einen rechten aber mit dem Gegenstand bilden. Steht der Gegenstand senkrecht auf der Spiegelebne, so fällt das Bild in ein und dasselbe Loth; und nähert sich der Gegenstand, so nähert sich auch das Bild.

4) Fallen convergirende*) Strahlen auf den Spiegel, so können sich ihre reflectirten Strahlen nicht hinter dem Spiegel schneiden, sondern müssen vor demselben ein Luftbild machen.

5) Bei gewöhnlichen Glasspiegeln sieht man immer zwei, auch noch mehrere aber schwächere Bilder, welche von der vielfachen Reflexion innerhalb der beiden Glasflächen herkommen. Im polirten Holz scheint der gespiegelte Gegenstand in der Oberfläche selbst zu liegen.

6) Ein Spiegel, worin sich ein Mensch ganz sehen soll, braucht nur halb so hoch und breit zu seyn als dieser, denn ziehen wir von den Gränzpunkten des Bildes nach dem Auge Linien, so schneiden sie an der Spiegelfläche nur die Hälfte der Dimensionen des Bildes ab. — Befindet sich ein Gegenstand zwischen zwei parallel gestellten Planspiegeln, so entsteht in jedem ein Bild, jedes Bild wird im entgegenstehenden Spiegel abermals reflectirt u. s. f. unzähligemal, aber immer schwächer und entfernter, so zwar daß man selten mehr als acht Bilder wahrnimmt. Schließen aber die beiden Spiegel einen Winkel ein, so erscheinen die Bilder eines dazwischen befindlichen Gegenstandes symmetrisch in der Peripherie eines Kreises geordnet, dessen Halbmesser gleich dem Abstand des Objectes vom Scheitel des Winkels, und darauf beruht das Kaleidoscop oder der Schönucker. Instrumente wozu man Planspiegel gebraucht sind folgende:

1) Der Heliostat, welcher längere Zeit einen Sonnen-

---

*) Convergirende Strahlen sind solche, die auf einen Punkt zusammenlaufen; divergirende, die von einem solchen auseinandergehen, um sich nicht mehr zu vereinigen.

strahl auf einen bestimmten Punkt festhält. Da nämlich die Erde sich bewegt, so würde ein reflectirter Strahl auch seine Richtung ändern; durch ein Uhrwerk wird aber der Spiegel der Sonne nachgerückt und in solcher Lage erhalten, daß stets der Strahl auf ein und denselben Ort fällt. Man gebraucht den Heliostat zu feinen optischen Untersuchungen.

2) Der Heliotrop, ein Instrument womit man auf einen bestimmten, durchs Fernrohr gesehenen Punkt hin mit einem am Tubus unter dem gehörigen Winkel befestigten Spiegel ein Lichtsignal geben kann. Es dient zu geographischen Längenbestimmungen.

3) Das Goniometer zur Messung von Krystallwinkeln. Befestigt man nämlich den Krystall an einem getheilten Kreis, so daß die Kante des zu messenden Winkels mit der Drehungsaxe zusammenfällt, so wird die erste Fläche ein Bild reflectiren, und dreht man bis die zweite dasselbe Bild in gleicher Richtung erscheinen läßt, so ist der Drehungswinkel die Ergänzung des Krystallwinkels zu 180°.

4) Der Wallgucker ist ein mit einem geneigten Planspiegel versehenes Rohr, womit man ohne Aufmerksamkeit zu erregen zur Seite befindliche Gegenstände betrachten kann. Eine ähnliche, nur mit mehreren, unter entgegengesetzten Winkeln, geneigten Spiegeln versehene Vorrichtung ist das Zauberperspectiv, womit man z. B. hinter einer Wand befindliche Gegenstände sieht.

Die gekrümmten Spiegel können sphärische, cylindrische, conische, parabolische und andere Gestalt haben, und sie heißen Hohl- oder Concavspiegel, wenn die hohle Seite, erhabene oder Convexspiegel, wenn die erhabne

Seite die spiegelnde Fläche ist. Es werden vorzüglich nur sphärische Spiegel gebraucht, und von diesen wollen wir zuerst die Hohlspiegel ein wenig betrachten. Sey M A N Fig. 3. der Durchschnitt eines solchen, sein

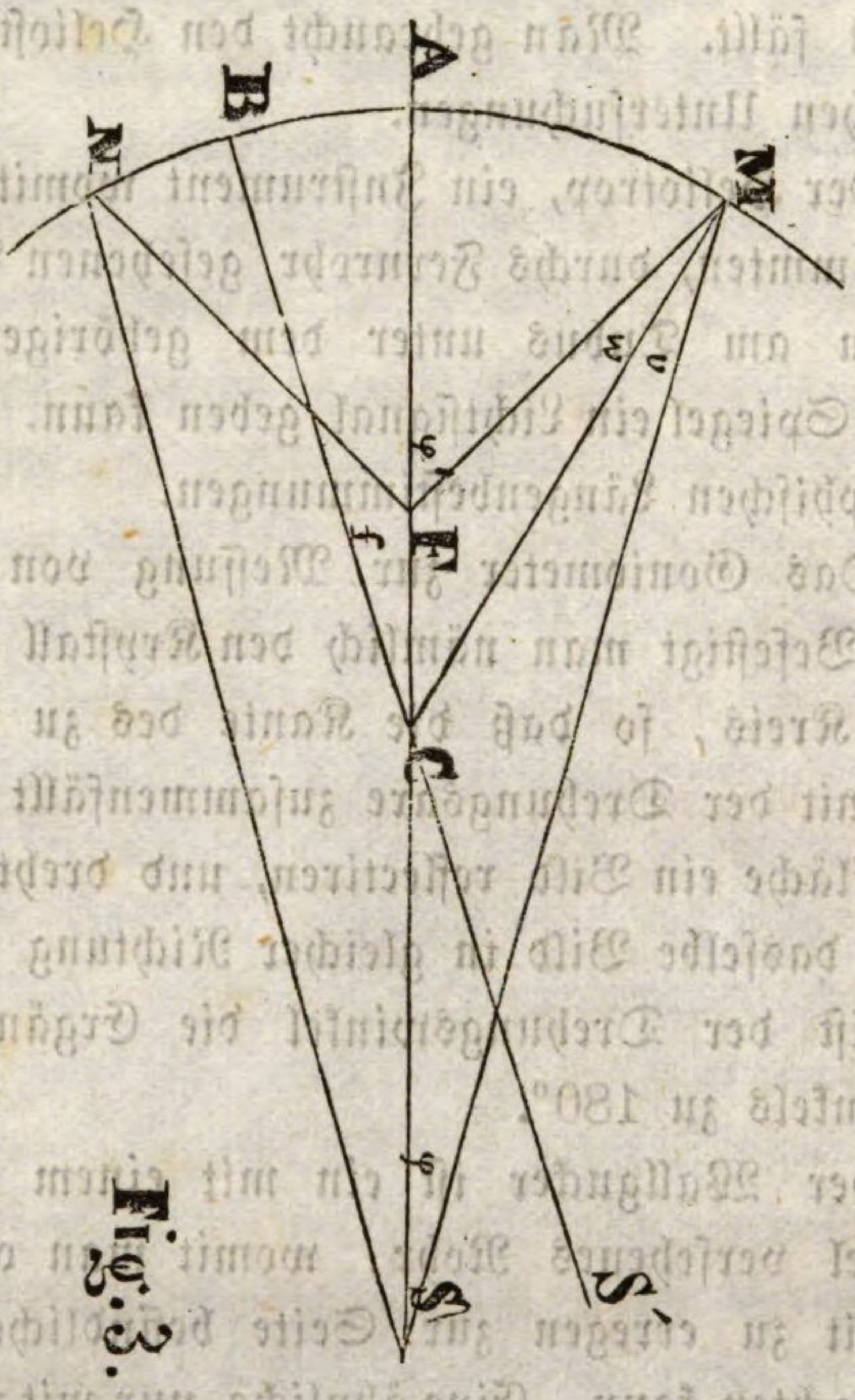


Fig. 3.

Krümmungsmittelpunkt in C, so wird die Linie S C A seine Axe, und jeder andre durch C gezogene Strahl ein *Hauptstrahl* genannt. Ein Hauptstrahl wird in sich selbst reflectirt, ob er nun von einem inner oder außer der Axe liegenden Punkt kömmt, denn die Radien bilden das Einfallsloth der berührenden Ebne; ein solcher Hauptstrahl ist aber die Verlängerung eines Radius,

und muß daher in seiner ursprünglichen Richtung zurückgeworfen werden.

Alle Strahlen, die von einem in der Axe liegenden Lichtpunkt kommen, werden in derselben wieder in einem einzigen Punkte durch Reflexion vereinigt, wenn sie vorher mit der Axe gleichen Winkel gebildet; denn wie der Strahl S M unter seinem Einfallswinkel vom Einfallsloth weg reflectirt wird, so auch der Strahl S N und jeder andere der von S ausgeht und mit der Axe den Winkel $\varphi$ bildet. Die Entfernung des Vereinigungspunktes vom Spiegel heißt Vereinigungsweite, und diese soll jetzt gesucht werden. Man setze $SA = a$ die Entfernung des leuchtenden Punktes, $FA = \alpha$ die Vereinigungsweite, $CA = CM = r$ der Krümmungsradius, und $v = w$, dann findet man aus $\triangle\, SCM$

$\sin v : \sin \varphi = a - r : r$ oder $\sin w = \sin \varphi \, \dfrac{a-r}{r}$

Aus $\triangle\, SMF$ ist $\varphi' = \varphi + 2\,w$ ferner

$(CF = r - \alpha) : r = \sin w : \sin (180^0 - \varphi')$ also

$$\alpha = r - \frac{r \sin w}{\sin \varphi'}$$

Ist $\varphi$, also auch $\varphi'$ und w sehr klein, so kann man die Bogen statt der Sinus nehmen, und dadurch wird

$$\frac{w}{\varphi} = \frac{a-r}{r} \text{ und } \alpha = r - \frac{r\,w}{\varphi + 2\,w}$$

$$\text{mithin } \alpha = \frac{r\,\varphi - 2\,r\,w - r\,w}{\varphi + 2\,w}$$

$$a = \frac{r\left(1 + \frac{w}{\varphi}\right)}{1 + \frac{2\,w}{\varphi}} = \frac{r\left(1 + \frac{a-r}{r}\right)}{1 + \frac{2(a-r)}{r}}$$

$2\alpha a - \alpha r = a r$ und mit $a \alpha r$ dividirt

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{2}{r} - \frac{1}{a}$$

Ist $a = \infty$, so hat man $\frac{1}{\alpha} = \frac{2}{r} = \frac{1}{p}$

Im letztern besondern Falle hat man also parallele Strahlen, die sich in der Hälfte des Radius vor dem Spiegel vereinigen, deßhalb heißt der Hohlspiegel Sammelspiegel, und der Vereinigungspunkt, weil in ihm die nahezu parallel von der Sonne kommenden Strahlen zünden, Brennpunkt, dessen Entfernung vom Spiegel aber Brennweite. Steht der Gegenstand im Brennpunkt, so werden die reflectirten Strahlen parallel, $\alpha = \infty$, und geben kein Bild. So lange a größer als p, ist $\alpha$ positiv und der Vereinigungspunkt liegt vor dem Spiegel, ist es $= 2$ p, so liegt er wie der leuchtende Punkt im Mittelpunkt, weil dann auch $\alpha = 2$ p. Nimmt a ab, so nimmt $\alpha$ zu, und wird a kleiner als p, so ist $\alpha$ negativ, die Strahlen können sich nicht mehr vorm Spiegel vereinigen, sondern werden divergirend reflectirt, als kämen sie von einem Punkt hinter dem Spiegel. Fallen die Strahlen convergirend auf, wird a also negativ, so ist $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} + \frac{1}{a}$, $\alpha$ also positiv und kleiner als a.

Alles dieß kann jedoch genau genommen nur von Haupt- oder Centralstrahlen gelten, so wie von Strahlen, die mit diesen von einem Punkt unter einem sehr kleinen Winkel einfallen; wird der Winkel $\varphi$ größer, so kann man nicht mehr die Sinus gleich dem Bogen setzen, die am Rand einfallenden Strahlen können nicht mehr

in einen Punkt mit den Centralstrahlen vereinigt werden, man erhält mehrere Punkte in einem Kreis geordnet und das Bild wird darum undeutlich. Die Größe der Abweichung in der Axe heißt Längenabweichung, und steht im geraden Verhältniß mit dem Quadrat der Oeffnung, und im verkehrten mit dem Radius; die Größe der Abweichung senkrecht darauf heißt Seitenabweichung, und steht der Rechnung nach im geraden Verhältniß mit dem Cubus der Oeffnung, und im verkehrten mit dem Quadrat der Brennweite. Je kleiner daher die Oeffnung und je größer die Brennweite, desto deutlicher das Bild. Die Brennlinien oder Katakaustiken entstehen von dieser Kugelabweichung, sie sind z. B. in einer Tasse Wasser gut sichtbar, nämlich herzförmig.

Auch die Lage und Größe der Bilder ausgedehnter Gegenstände richtet sich nach deren Abstand vom Spiegel, und man findet sie, wenn man von den Gränzpunkten aus Hauptstrahlen zieht und hiefür die Vereinigungsweite sucht. Da wo die reflectirten Strahlen der von jenen Gränzpunkten aus gedachten parallelen Strahlen die Hauptstrahlen schneiden, dort sind die Gränzpunkte des Bildes. Ist der Gegenstand außerhalb der Brennweite, so entsteht zwischen Mittel- und Brennpunkt ein verkleinertes, umgekehrtes, durch Rauch etwa wahrzunehmendes Bild; ist er zwischen Mittel- und Brennpunkt, so rückt das Bild über den Mittelpunkt hinaus und wird größer, bleibt aber verkehrt. Bringt man den Gegenstand in den Brennpunkt, so sieht man gar keines, fällt er aber innerhalb der Brennweite, so ent-

steht hinter dem Spiegel ein vergrößertes und aufrechtstehendes Bild.

Für Converspiegel braucht man nur den Halbmesser, also auch die Brennweite negativ zu nehmen, es wird dann $\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right)$ die Vereinigungsweite für jeden positiven Werth von a negativ, so daß die reflectirten Strahlen divergiren, und die Converspiegel daher auch Zerstreuungsspiegel heißen; so wie ihr Brennpunkt auch nur ein imaginärer ist. Je näher der leuchtende Punkt dem Spiegel gebracht wird, und je kleiner der Halbmesser des Spiegels ist, desto mehr nähert sich der scheinbare Vereinigungspunkt dem Spiegel; bei convergirend einfallenden Strahlen kömmt er sogar vor den Spiegel und wird dann wirklich.

Die Converspiegel zeigen uns die Gegenstände hinter sich, aufrecht und verkleinert, und nur von convergirenden Strahlen vor sich und vergrößert.

Parabolische Spiegel entstehen durch Umdrehung einer Parabel um ihre Hauptaxe. Fallen parallele Strahlen auf einen parabolischen Hohlspiegel, so werden sie gemäß den Eigenschaften der Parabel genau in den Brennpunkt reflectirt, und es entsteht von ihnen weniger Abweichung, als bei sphärischen Spiegeln. Strahlen, die von dem einen Brennpunkt einer Ellipse ausgehend auf einen elliptischen Spiegel fallen, werden in dem andern Brennpunkt derselben gesammelt. Konische Spiegel stellen nach der Seite des Kegels eine Menge unendlich schmaler ebener Spiegel dar, nach der zur Grundfläche parallelen Richtung aber eine Menge

erhabner von verschiedenen Radien, und es erscheinen daher die Gegenstände in ihnen mit natürlicher Höhe aber mit nach oben abnehmender Breite. Um ein richtiges Bild zu erlangen, muß der Gegenstand daher kreisrund erweitert gezeichnet werden, wie bei den Anamorphosen geschieht. — Ein weniges noch über den Gebrauch der Hohlspiegel. Das Licht nimmt bei der Divergenz der Strahlen an Stärke ab, durch Hohlspiegel kann es aber gesammelt werden. Auf Leuchtthürmen gebraucht man nur parabolische Hohlspiegel, aus deren Brennpunkt eine Flamme parallele Strahlen in große Ferne hinsendet. Sie drehen sich meistens um eine Axe, um allmählich nach verschiedenen Seiten zu leuchten. Fällt directes Sonnenlicht auf einen Hohlspiegel, so wird es in dessen Brennweite gesammelt, wo ein rundes Sonnenbild, der Brennraum, entsteht. Die zündende Wirkung des Spiegels steht mit seiner Fläche im geraden einfachen, mit seiner Brennweite in verkehrtem Quadratverhältniß; er soll jedoch wegen der Kugelabweichung nicht mehr als 20° Oeffnung haben. Athanasius Kircher und Büffon setzten mehrere ebene Spiegel unter einander geneigt zu einer Art Hohlspiegel zusammen und schmolzen damit Metall. Ob Archimedes die römische Flotte vor Syrakus mit Brennspiegeln verbrannt habe, läßt sich noch bestreiten.

## Dioptrik.

Unter Brechung des Lichtes versteht man die Ablenkung, welche dessen Richtung bei seinem Uebergang aus einem Mittel in ein anderes erleidet. Ist M N Fig. 4. die Trennungsfläche beider Mittel, S A der

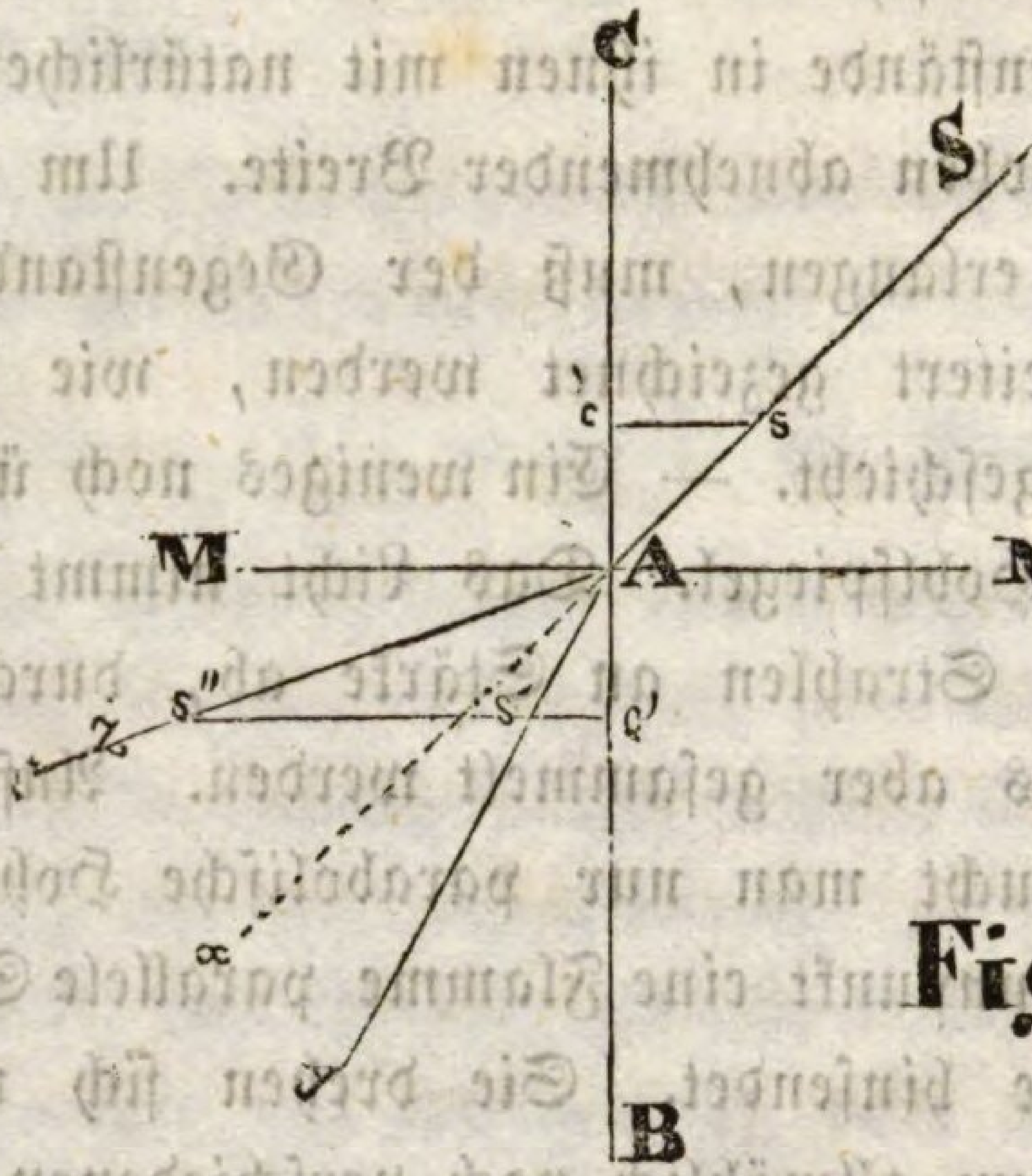


Fig. 4

einfallende Strahl, C A das Loth und A y der gebrochene Strahl, so heißt der Winkel S A C Einfallswinkel, der Winkel B A y der Brechungswinkel und x A y der gebrochene Winkel. Wäre die Trennungsfläche gekrümmt, so betrachtet man das Element am Einfallspunkt als mit der Berührungsebene zusammenfallend, und die Brechung als auf dieser Ebene vor sich gehend. Die doppelte Brechung wollen wir später kurz betrachten. Die allgemeinen Gesetze der einfachen Brechung sind

1) der einfallende und der gebrochene Strahl liegen sammt dem Einfallslothe in einer und derselben Ebene, aber auf entgegengesetzten Seiten der Brechungsfläche und des Einfallslothes.

2) Unter was für einer Neigung auch der Strahl einfalle, immer bleibt für dieselben Mittel das Verhältniß des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkel ungeändert. Ist S A C = a und

B A y = b, so hat man $\frac{c\,s}{c'\,s'} = \frac{\sin a}{\sin b} = n$, gleich einer Constanten, welche der Brechungsexponent heißt.

3) Geht ein Lichtstrahl aus einem brechenden Mittel in ein anderes, und sind beide von ähnlicher materieller Beschaffenheit und nur in der Dichte verschieden, so geschieht die Brechung beim Eintritt aus dem dünneren ins dichtere Mittel nach A y zum Loth; beim Eintritt vom dichtern ins dünnere vom Einfallsloth, nach A z, und man hat im letztern Fall für n einen ächten Bruch. Diese Sätze sind von Willebrod Snell in Leyden, durch Descartes veröffentlicht. Aus diesen Gesetzen ergeben sich nachstehende Folgerungen.

a) Ist $a = o$, fällt also der Strahl senkrecht ein, so muß, da n niemals Null seyn kann, auch $b = o$ seyn, d. h. der Strahl geht dann ungebrochen durchs zweite Mittel.

b) Ist $a = 90^0$ und geschieht die Brechung zum Loth, so wird $\sin b = \frac{\sin 90^0}{n} = \frac{1}{n}$ das Maximum für den Brechungswinkel.

c) Geschieht die Brechung vom Loth, so fällt der gebrochene Strahl bei $b = 90^0$ mit der Trennungsfläche zusammen, und da für diesen Fall $\sin a = n$, so würde bei einem größern a der gebrochene Strahl sogar diesseits bleiben oder reflectirt, es ist nämlich $\sin a = n$ die Gränze, mit welcher die totale Reflexion beginnt. Wenn sie bei verfälschten Flüssigkeiten eher eintritt als bei reinen, so hat man daran ein Mittel jene zu erkennen.

d) Geht ein Strahl durch ein von parallelen Ebenen begränztes Mittel, so ist seine Richtung nach dem

Austritt zu der vor dem Eintritt parallel, denn um was er an der ersten Trennungsfläche zum Loth hingelenkt wurde, um eben so viel wird er an der zweiten davon abgelenkt. Ist das Mittel sehr dünn, so bleibt der Strahl fast ganz in seiner vorigen Richtung. Gleiches gilt von mehreren parallelen Mitteln, und es wird in solchen Fällen immer der Austrittswinkel gleich dem Eintrittswinkel, indem beide wechselseitig von parallelen Schenkeln gebildet sind. Aus diesen Gesetzen und Folgerungen sind mehrere dioptrische Erscheinungen zu erklären.

1) Befindet sich am Boden eines Gefäßes etwa ein Stück Geld, das man vor dem Rand des Gefäßes nicht sieht, und gießt man Wasser hinein, so werden die Strahlen, welche vom Geldstücke kommen, seitwärts so gebrochen, daß sie sich an einem höheren Punkte vereinigen und das Geldstück darum näher an der Oberfläche sichtbar wird. Darum erscheint auch ein Bassin mit klarem Wasser weniger tief.

2) Ein gerader in geneigter Richtung ins Wasser getauchter Stab erscheint gebrochen und verkürzt, weil wieder beim Austritt der Strahlen von Wasser in Luft eine Brechung vom Loth erfolgt und die untern Theile des Stabes dadurch im Wasser erhöht erscheinen.

3) Ruhende Gegenstände in schwankendem Wasser scheinen sich zu bewegen, weil die Richtung des gebrochenen Strahles wechselt, und bei ungleicher Oberfläche sieht man oft auch doppelte Bilder, weil in zwei Richtungen.

4) Die Gegenstände scheinen unter dem Wasser auch größer zu seyn, weil die Strahlen durch die Bre-

chung beim Austritt divergiren und darum größern Sehwinkel bewirken.

5) Sieht man durch ein polyedrisches, d. i. vielflächiges Glas auf einen Gegenstand, so erblickt man mehrere Bilder desselben in verschiedenen Lagen, weil die Strahlen auf jeder Fläche anders einfallen, also auch anders gebrochen werden. Man hat darum auch dioptrische Anamorphosen.

6) Ein in einem stillen Wasser befindlicher Taucher sieht nur jenen Gegenstand außerhalb des Wassers in unveränderter Richtung, welcher in seinem Zenith ist; Strahlen von Gegenständen, die vom Zenith abstehen, gelangen durch die Brechung in sein Auge in einer solchen Richtung, als kämen sie von einem höherbefindlichen Punkt, und ein Gegenstand der am Horizont ruht, also unter nahe 90° zum Loth geneigt ist, erscheint ihm unter dem Winkel von 48° ½ vom Zenith, der Gränze der Totalreflexion für Wasser.

7) Geht ein Strahl durch ein Mittel von zunehmender Dichte, so wird er in jeder der folgenden Schichten mehr zum Einfallsloth gebrochen, daher eine stetige Ablenkung erleiden und eine krumme Linie beschreiben. Die atmosphärische Luft ist ein solches Mittel, und deßwegen sieht man ein Gestirn, das sich nicht im Zenith befindet, nicht in seiner wahren Lage, sondern höher. Dieß heißt die astronomische Refraction, und sie ändert mit der Temperatur und dem Luftdruck, welche man daher bei ihrer Berechnung berücksichtigen muß. Aehnlich ist die terrestrische Refraction bei Messung von Berghöhen ꝛc. zu beachten. Durch die astronomische Refraction kann ein Gestirn, das schon etwas unter dem

Horizont ist, noch gesehen werden; und wenn dieß von der Sonne gilt, so hat man Dämmerung, die besonders gegen die Pole hin lang ist. In der Nähe des Horizonts werden überhaupt die Strahlen stärker gebrochen, weil die Luft dichter ist, welche, von vielen Dünsten erfüllt, darum auch die fernen Gegenstände größer und näher scheinen läßt, z. B. den aufgehenden Mond; Nähe des Gebirges vorm Gewitter rc.

8) Geht aber der Strahl von der Erde hinauf in die Luft durch immer dünnere Schichten, so wird er immer mehr vom Einfallsloth gebrochen, sein Einfallswinkel auf die folgende Schicht immer größer, bis endlich die totale Reflexion eintritt, und man in der Entfernung eine Luftspiegelung, auf dem Meere Kimmung genannt, sieht, wenn nämlich die Luft durch Dünste so präparirt ist, daß die oberen Schichten dicht genug werden, um zu reflectiren. Aehnliches findet bei der fata morgana und bei den gefährlichen Luftbildern der heißen Sandwüste statt.

Um die Construction optischer Instrumente zu verstehen, muß man die Brechung durch Linsen, zuvor aber noch die durch Prismen kennen lernen.

I. Der Winkel, welchen die zwei Ebenen des dreiseitigen Prisma, durch welche ein Strahl geht, miteinander bilden, heißt der brechende Winkel.

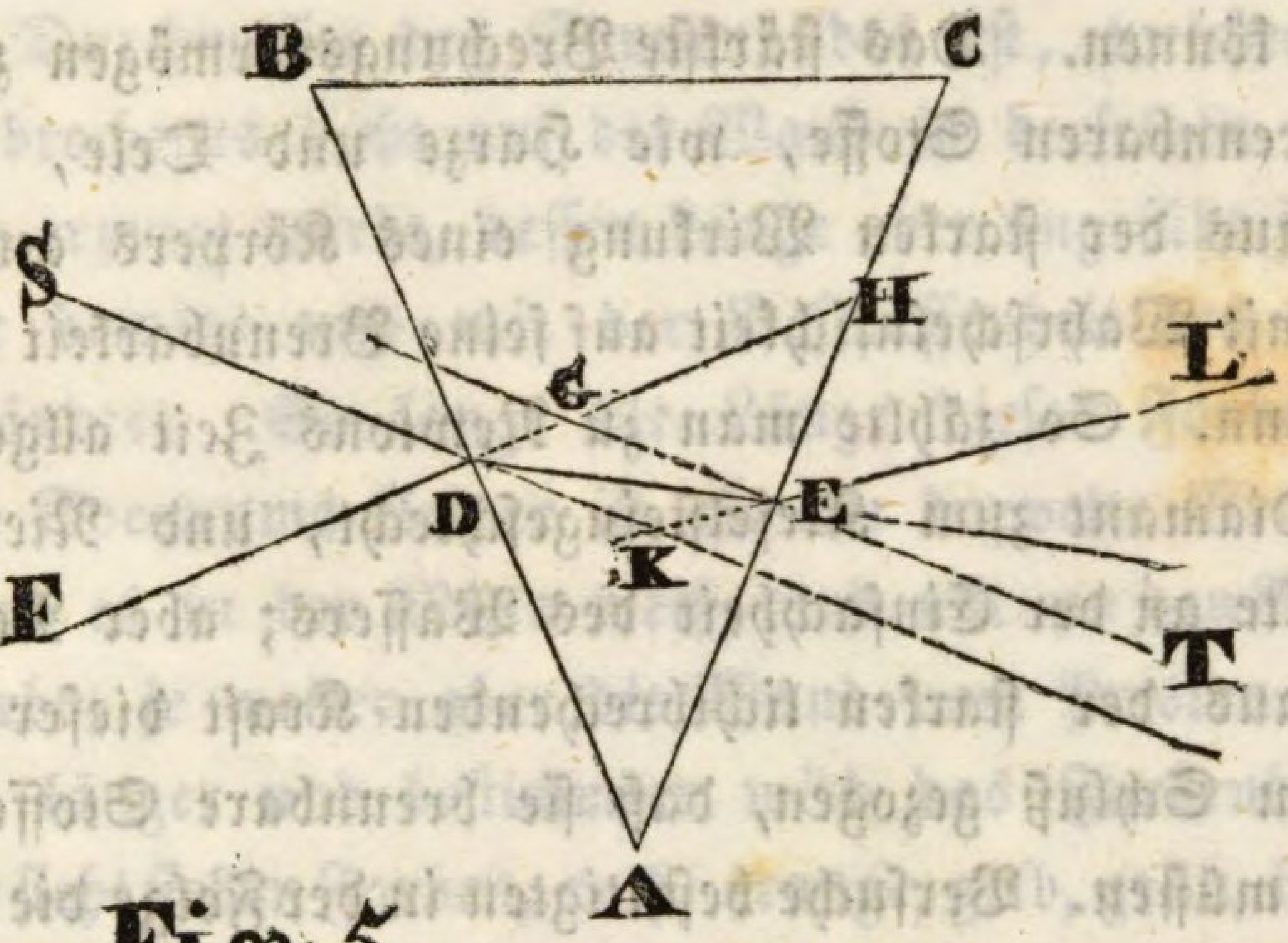


Fig. 5.

Es ist, Fig. 5., $D\,G\,E + D\,A\,E = 2\,R$

$$D\,G\,E + H\,G\,E = 2\,R$$

also $D\,A\,E = H\,G\,E = G\,D\,E + G\,E\,D$

ferner, wenn der Strahl aus einem dünneren Mittel kömmt, $\sin S\,D\,F = n \sin G\,D\,E$

$$\sin L\,E\,T = n \sin G\,E\,D$$

wenn nun $G\,D\,E = \alpha$, $D\,E\,G = \beta$, $D\,A\,E = \psi$

$S\,D\,F = \varrho$, $L\,E\,T = \sigma$, so ist weil

$$\sin \alpha = \sin(\psi - \beta) = \sin \psi \cos \beta - \cos \psi \sin \beta$$

$$\sin \varrho = n \sin \psi \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - n \cos \psi \sin \beta$$

$$n^2 \sin^2 \psi \,(1 - \sin^2 \beta) = (\sin \varrho + \cos \psi \sin \sigma)^2$$

$$n^2 = \frac{(\sin \varrho + \cos \psi \sin \sigma)^2 + \sin^2 \sigma \sin^2 \psi}{\sin^2 \psi}$$

$$n = \frac{\sqrt{(\sin \varrho + \cos \psi \sin \sigma)^2 + \sin^2 \sigma}}{\sin \psi}$$ das Brechungsvermögen.

Das Brechungsvermögen hängt von der chemischen Beschaffenheit der Theile eines Körpers ab, so daß Körper, die an Dichtigkeit von andern übertroffen werden, doch noch ein bißchen stärkeres Brechungsvermögen

haben können. Das stärkste Brechungsvermögen zeigen die brennbaren Stoffe, wie Harze und Oele, daher man aus der starken Wirkung eines Körpers auf das Licht mit Wahrscheinlichkeit auf seine Brennbarkeit schließen kann. So zählte man zu Newtons Zeit allgemein den Diamant zum Kieselsteingeschlecht, und Niemand zweifelte an der Einfachheit des Wassers; aber Newton hatte aus der starken lichtbrechenden Kraft dieser Körper den Schluß gezogen, daß sie brennbare Stoffe enthalten müssen. Versuche bestätigten in der Folge die Richtigkeit dieses Schlusses, da der Diamant krystallisirter Kohlenstoff ist, und das Wasser den brennbarsten Körper, den Wasserstoff hat. Die Wärme ändert das Brechungsvermögen nicht, wenn nicht zugleich die Dichte (d) geändert wird. Das specifische Brechungsvermögen oder das Verhältniß $\frac{n}{d}$ ist größer beim flüssigen Zustand, als beim ausdehnsamen. Die brechende Kraft eines Gases ist seiner Dichte proportionirt, und bei gemengten, nicht chemisch gemischten Gasen läßt sie sich aus den Bestandtheilen berechnen.

II. Durch ein Prisma werden die Strahlen übrigens nicht nur gebrochen, sondern auch in ihrem Durchmesser auseinandergezogen und dadurch in ihrer Intensität verschiedentlich abgeändert. Fällt nämlich ein schmaler Sonnenstrahl auf ein mit dem brechenden Winkel nach abwärts gekehrtes Glas-Prisma, so wird er nicht nur nach obenhin abgelenkt, sondern erzeugt an der gegenüberstehenden Wand ein längliches, unten und oben von zwei Halbkreisen, an beiden Seiten von geraden Linien begränztes Farbenbild, dessen Breite gleich

dem Durchmesser des Sonnenbildes ist, welches durch ungebrochenes Licht auf der Wand in derselben Entfernung erzeugt würde, dessen Länge aber ungefähr fünfmal mehr beträgt und mit der Beschaffenheit des Prisma sich ändert. So lange die Länge dieses Farbenbildes oder Spectrums kleiner ist als die doppelte Breite, erscheint es in der Mitte weiß, und nur an den Rändern gefärbt; je weiter aber die Wand vom Prisma absteht, desto länger und bestimmter wird das Farbenbild und man sieht sieben Farben, roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violet, welche immer in der gleichen Ordnung erscheinen, und wovon das Roth am wenigsten, das Violet am meisten vom Ort des directen Sonnenbildes abgelenkt ist.*) Diese verschiedenartige Modification oder Verbreiterung des Lichtes durch die differente Dicke des Prisma heißt Farbenzerstreuung. Ein zweites Prisma modificirt das Spectrum des ersten nur mehr durch die Ablenkung der Strahlenrichtung, nicht mehr aber in der verschiedenartigen Intensität oder Verbreiterung, wie etwa auch Licht, das durch eine Plan- und Parallelschichte gegangen ist, durch eine zweite nicht so stark absorbirt wird, als durch die erste. Deßgleichen erzeugt ein Prisma vor einem Glas von bestimmter Farbe nur ein Spectrum von dieser Farbe. Tritt bei Plan- und Parallelgläsern keine Farbendifferenzirung ein, so auch nicht bei zwei gleichen entgegengesetzt gestellten Prismen; und die Differenzirung des ersten Prisma wird nahezu durch die gegentheilige des zweiten aufgehoben. Sind die Pris-

*) Das Verhältniß der Farben ist etwa: Roth 94, Orange 640, Gelb 1000, Grün 480, Blau 170, Violet 31.

men von ungleicher Beschaffenheit, so daß sie verschiedentliche Spectren geben, so kann man doch entgegengesetzte Differenz oder den Achromatismus bewirken, wenn man ihnen verschiedene entsprechende Winkel gibt, z. B. Crownglas von 30° und Flintglas von 19°. Werden die farbigen Strahlen des Spectrums im Brennpunkt eines Hohlspiegels gesammelt, so resultiren sie ein nahezu weißes Bild, das jedoch in größerer Entfernung abermals zu Farben sich ausbreitet.

Alle Farben der Welt sind in dem Spectrum. Man kann aus einigen dieser Farben die andern durch Mischung hervorbringen. Nimmt man Roth aus dem Spectrum, so entsteht aus Gelb und Blau Grün, und Grün heißt darum die Ergänzungs- oder complementäre Farbe von Roth. Orange und Blau, Gelb und Violet sind auch gegenseitig Ergänzungsfarben. Betrachten wir nun ein scharf begränztes Object, das dunkler oder heller ist, als der Hintergrund, durchs Prisma, so scheint es mit farbigen Franzen gesäumt und etwas gebogen wie von verschiedenem brechenden Winkel, weil die Strahlen seitlich schiefer eintreten. Bei einem Fensterrahmen z. B., hinter welchem der helle Himmel ist, entstehen die Prismenfarben von dem unterhalb und oberhalb des Rahmens herkommenden Lichte, und zwar wenn die Kante abwärts steht, oben von Violet ins Roth, unten von Roth ins Violet vom Rand des Rahmen aus gerechnet, weil die Lage des Prisma dem nach vornhin erscheinenden Spectrum nur in der Ordnung von Roth abwärts sich darzustellen gestattet. Es fällt übrigens aufs Prisma, selbst wenn das Licht von einer sehr dünnen Oeffnung kömmt, nicht ein einzelner Strahl son-

dern ein Strahlenbündel; im Spectrum vermengen sich daher die Farben der benachbarten Strahlen und man erhält kein homogenes Farbenbild. Läßt man jedoch die Strahlen von einem verticalen Spalt auf ein verticales Prisma so auffallen, daß der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel wird, indem dann die Ablenkung ein Minimum wird oder das Bild des Prisma dem directen nicht mehr näher gebracht werden kann, und sammelt man nun durch einen Spiegel oder eine Linse die unter sich parallelen Strahlen einer Farbengattung je in einem Punkt, so erhält man hinter dem Brennpunkt ein horizontales homogenes Spectrum. Man sieht in diesem eine eigene Erscheinung, nämlich eine Menge dunkler verticaler Streifen, in den verschiedenen Farben ungleich vertheilt. Sie sind von Fraunhofer entdeckt, und je nach der materiellen Beschaffenheit des Prisma und des auffallenden Lichtes verschieden; im Flammenbild sieht man sogar zwei glänzende Streifen. Da diese Streifen für eine bestimmte Glasart des Prisma eine bestimmte Lage haben, so kann man diese messen und daraus die Farbenzerstreuung bestimmen. *)

---

*) Dichte, Brechung und Zerstreuung einiger Stoffe:

| | D | N | Nv.—Nr. |
|---|---|---|---|
| Diamant | 3.521 | 2.487 | 0.056 |
| Wasser | 1.000 | 1.336 | 0.012 |
| Alkohol | 0.825 | 1.374 | 0.011 |
| Flintglas | 3.779 | 1.68 | 0.043 |
| Crownglas | 2.892 | 1.52 | 0.0208 |

III. Die Brechung auf krummen Flächen geschieht, wie schon oben gesagt, in jedem einzelnen Punkte gerade wie auf der Berührungsebne dieses Punktes. Wir können uns auf die Brechung von Glas an sphärischen Flächen beschränken, welche die gewöhnlichsten sind, und man unterscheidet nach ihrer Lage

1) biconvexe Gläser oder Linsen, welche entstehen wenn sich zwei Kugeln schneiden;

2) planconvexe, auf einer Seite erhaben, auf der andern eben;

3) biconcave, auf beiden Seiten hohl oder einwärts gekrümmt;

4) planconcave, auf einer Seite eben, auf der andern hohl, und

5) convex-concave, auf einer Seite hohl, auf der andern erhaben, und diese heißen, wenn die Krümmung der erhabenen Seite stärker, ihr Halbmesser also kleiner ist als der der hohlen, Menisken. Unter Axe der Linse versteht man die gerade Linie durch ihre beiden Krümmungsmittelpunkte, und ein Punkt in ihr, welcher der Halbirung der Differenz der beiden Halbmesser entspricht, heißt der optische Mittelpunkt. Liegen die Theile einer Linse symmetrisch um die Axe, so ist sie centrirt. Erhabne Flächen sammeln die gebrochenen Strahlen, hohle zerstreuen dieselben, wie eine einfache Zeichnung lehrt.

Es sey Fig. 6. S der leuchtende Punkt, A B der Durch-

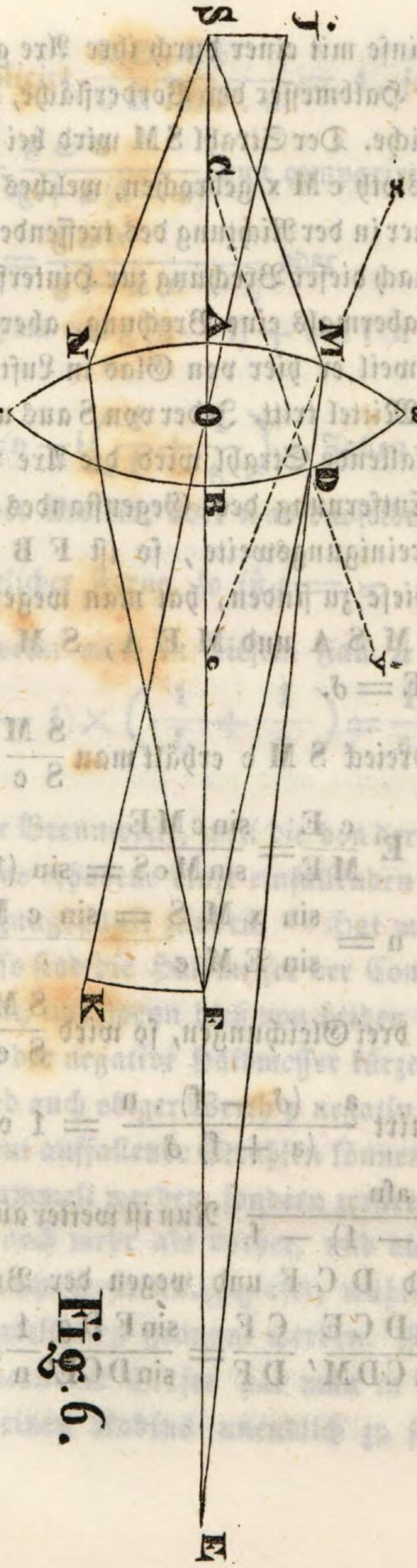

Fig. 6.

schnitt der Linse mit einer durch ihre Axe gehenden Ebne, A c = f der Halbmesser der Vorderfläche, B C = g jener der Hinterfläche. Der Strahl SM wird bei seinem Eintritt zum Einfallsloth c M x gebrochen, welches bei sphärischen Flächen immer in der Richtung des treffenden Radius liegt. Er gelangt nach dieser Brechung zur Hinterfläche in D, und erleidet hier abermals eine Brechung, aber vom Loth C D y nach D F, weil er hier von Glas in Luft, vom dichtern ins dünnere Mittel tritt. Jeder von S aus unter demselben Winkel auffallende Strahl wird die Axe in F schneiden. Heißt die Entfernung des Gegenstandes S A = a die vordere Vereinigungsweite, so ist F B = $\alpha$ die hintere. Um diese zu finden, hat man wegen der Kleinheit der Winkel M S A und M E A, S M = S A = a, M E = A E = $\delta$.

Aus dem Dreieck S M c erhält man $\frac{SM}{Sc} = \frac{\sin McS}{\sin SMc}$,

aus $\triangle$ M c E' $\frac{cE}{ME} = \frac{\sin cME}{\sin McS} = \sin (180 - McE)$

Es ist aber $n = \frac{\sin xMS = \sin cMS}{\sin EMc}$; multiplicirt man die drei Gleichungen, so wird $\frac{SM \cdot cE \cdot n}{Sc \cdot ME} = 1$

und substituirt $\frac{a \cdot (\delta - f) \cdot n}{(a + f)\,\delta} = 1$ oder

$\delta = \frac{afn}{a\,(n - 1) - f.}$ Nun ist weiter aus den Dreiecken D C E und D C F und wegen der Brechung in Luft $\frac{DE}{CE} = \frac{\sin DCE}{\sin CDM}$, $\frac{CF}{DF} = \frac{\sin FDg}{\sin DCE}$, $\frac{1}{n} = \frac{\sin CDM}{\sin FDy}$,

wieder multiplicirt $\frac{DE \,.\, CF}{CE \,.\, DF \,.\, n} = 1$, substituirt und reducirt $\delta = \frac{g \alpha n}{g + \alpha (1 - n)}$ nun comparirt

$$\frac{afn}{a(n-1) - f} = \frac{g \alpha n}{g - \alpha (n - i)}$$ oder

$a f g + \alpha f g = a \alpha g (n - i) + a \alpha f (n - i)$ mit $a \alpha f g$ dividirt

$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = n - i \left( \frac{1}{f} + \frac{1}{g} \right)$. Fallen die Strahlen parallel mit der Axe ein, oder was dasselbe ist, kommen sie aus unendlicher Ferne, so ist $a = \infty$, $\frac{1}{a}$ also $= o$ und darum, wenn man in diesem Fall $\alpha = p$ nennt

$$\frac{1}{p} = (n - 1) \times \left( \frac{1}{f} + \frac{1}{g} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

p heißt die Brennweite, weil die von der Sonne nahe parallel auf eine erhabene Linse einfallenden Strahlen in ihrem Vereinigungspunkt zünden. — Hat man nun aber ein Hohlglas, so sind die Halbmesser der Concavfläche negativ zu nehmen, und wenn dieß von beiden Flächen gilt, oder wenn nur der negative Halbmesser kürzer ist als der positive, so wird auch obiger Werth p negativ, d. h. parallel und divergent auffallende Strahlen können durch Hohlgläser nicht gesammelt werden, sondern zerstreuen sich nach der Brechung noch mehr als vorher, und die Hohlgläser heißen darum auch Zerstreuungsgläser, während die Convergläser Sammellinsen genannt werden. Für planconcave oder planconvexe Gläser hat man in obiger Formel nur den einen Radius unendlich zu setzen. Aus

derselben Formel findet man $\alpha = \frac{ap}{a - p}$; so lange nun a > p, ist $\alpha$ positiv; ist a = p, so werden die Strahlen parallel ausfahren, und je kleiner a ist, desto größer wird $\alpha$, je näher also der Gegenstand, desto ferner der Vereinigungspunkt; ist aber a < p, so werden die Strahlen, jedoch weniger als zuerst, divergiren, und nur durch ihre Verlängerung einen imaginären Vereinigungspunkt vor der Linse, von dem sie zu kommen scheinen, erlangen. Ist a negativ, d. h. convergiren die einfallenden Strahlen nach einem Punkt hinter der Linse, so werden sie noch mehr convergent. Aehnliche Betrachtungen, nur aber mit Berücksichtigung der negativen Radien, gelten für die Hohlgläser; fallen z. B. divergente Strahlen auf ein solches, so werden sie noch divergenter und der Gegenstand mittelst der scheinbaren Vereinigungsweite, wie man sich auch durch Zeichnung überzeugt, scheint näher. Die Größe des Bildes kann man in ähnlicher Weise wie bei den Spiegeln aus dem Durchschnitt der vom Rand eines Gegenstandes kommenden Haupt- und parallelen Strahlen bestimmen. Es folgt aber auch aus der Aehnlichkeit der Dreiecke S O J und K O F in der Figur J S : F K = O S : O F

$$= a : \alpha$$

Also wenn die Größe des Gegenstandes als Einheit genommen wird, so ist die des Bildes $= \frac{\alpha}{a} = \frac{p}{a - p}$

So lange demnach a > 2 p, d. i. a — p > p, so lange ist das Bild kleiner als der Gegenstand; mit der Annäherung des Gegenstandes nimmt die Größe des Bildes zu, und zwar wird es sogar größer als der Ge-

genstand wenn $a < 2p$, aber noch nicht $a = p$, in welchem Fall gar kein Bild entsteht. In all' diesen Fällen ist das Bild hinter der Linse und ein verkehrtes, wird dagegen $a < p$, so erscheint es vor der Linse aufrecht und genähert d. h. vergrößert. Die Hohlgläser geben vor sich ein verkleinertes aufrechtes Bild, so lange die Strahlen divergent einfallen.

In der Construction unserer Formel haben wir vorausgesetzt daß die Winkel, welche die Strahlen mit der Axe und mit dem durch den optischen Mittelpunkt gehenden Strahl bilden, sehr klein sind. Dieß ist nun um so weniger der Fall, je näher die Strahlen gegen den Rand zu auffallen, und darum ändert sich der Werth der Formel und es können dann die unter verschiedenem Winkel auffallenden Strahlen, wenn sie auch von einem einzigen Punkte ausgehen, nicht mehr in einen einzigen Punkt vereinigt werden, vielmehr entstehen mehrerlei Bilder des leuchtenden Punktes, welche bei parallel ausgesandten Strahlen eine eigne Curve, die Brennlinie, sogenannte Diacaustica, bilden. Diese Abweichung der Bilder für Mittel- und Randstrahlen wird, weil sie von der sphärischen Gestalt der Linse herrührt, Kugelabweichung genannt, und sie erklärt sich schon aus der Betrachtung, daß die Linse aus Prismen zusammengesetzt ist, deren Brechungswinkel gegen den Rand hin zunimmt. Demzufolge nimmt die Kugelabweichung mit der größern Oeffnung und stärkern Krümmung der Linse zu; sie veranlaßt Verwirrung und Undeutlichkeit der Bilder und muß darum möglichst vermindert werden; die Oeffnung soll demnach so klein werden, als es die nöthige Helligkeit gestattet. Sind die Flächen im Verhältniß 1 : 7

gewählt, so wird sie nahezu ein Kleinstes, und für planconvexe und planconcave Gläser ist sie fast um den vierten Theil geringer, wenn die gekrümmte Seite dem fernen Objecte zugekehrt, als wenn dieß nicht der Fall ist. Bei starker Krümmung nimmt man lieber zwei Gläser, die zusammen den gleichen Effect geben, damit sich auf sie die Abweichung vertheile. Wäre die Linse auch noch von schlechter Kugelform, so würde die Abweichung um so größer seyn.

Weil eine Linse eigentlich aus prismatischen Flächen, die unter immer stärkern Winkeln zusammengeneigt sind, je näher sie dem Rand kommen, gebildet ist, so muß sie auch Farbenzerstreuung zeigen, und zwar, je weiter von der Axe, desto mehr. Dieß gibt eine Undeutlichkeit des Bildes, die sogenannte chromatische Abweichung, in welcher die verschiedenen Farben wegen ihrer verschiedenen Brechung nicht in einem Punkt der Linse sich vereinigen, sondern einen Kreis von nach innen weißem, nach außen etwas farbigem Rand bilden. Die Kreise der einzelnen Punkte vermengen sich, und daher kommt die Undeutlichkeit, die jedoch nicht so groß ist als wie bei der sphärischen Abweichung. Wollte man ein Hohlglas von gleichen Radien mit der Convexlinse zusammensetzen, so wäre allerdings die Zerstreuung gehoben, aber man hätte den Fall des Uhrglases, d. h. weder Vergrößerung noch Verkleinerung des Gegenstandes. Nimmt man dagegen die Radien des Hohlglases länger, so daß die Wirkung der Convexlinse vorwiegt, so sieht man schon daß, wie bei zwei Prismen von verschiedenen Winkeln, jetzt das Hohlglas eine stärkere Zerstreuungskraft besitzen, also von einer andern Glassorte, z. B. Flintglas seyn muß, um

den Achromatismus des Bildes oder wenigstens die Aufhebung der lebhaftern Farben zu erhalten. Je stärker die Zerstreuung und je geringer die Brechung des zweiten der zusammengesetzten Gläser, also des Hohlglases ist, desto kürzer wird die Brennweite des Ganzen seyn können. Durch Rechnung findet man daß die Brennweite des Crownglases zu der negativen des Flintglases einer achromatischen Doppellinse sich wie das Zerstreuungsvermögen des einen zu der des andern verhalten soll. Am besten sind die achromatischen Linsen, wenn Roth und Blau verschwinden, und nur einerseits ein wenig Grün, andererseits etwas Purpur bleibt. Vollkommener könnte der Achromatismus werden, wenn man Substanzen fände, in denen das Gesetz der Vertheilung der einzelnen Farben bei verschiedenem Zerstreuungsvermögen der gesammten Spectren dasselbe bliebe, doch nicht vom Brechungsvermögen abhängend. Blair hat durch Salzsäure mit Spießglanzbutter und Mercuriallösung ein Farbenbild von dem Gesetze des durch Crownglas entstehenden erhalten. Solche Flüssigkeiten sind aber zu sehr der Veränderung durch Temperatur und Gährung ausgesetzt, als daß sie praktisch anwendbar wären. Würde man nicht mehr Licht verlieren, so könnte man statt einer achromatischen Doppellinse eine solche dreifache nehmen, wo das erste und dritte Glas convex, das zweite hohl ist. Da in einer achromatischen Doppellinse das Hohlglas eine Kugelabweichung erhält, die sich entgegengesetzt zu der des Converglases verhält, so werden sich beide einander wenigstens theilweise aufheben, und eine Doppellinse, in welcher sowohl die Farben- als die Kugelabweichung bestens gehoben ist,

heißt eine aplanatische Linse. Eine Doppellinse aus einer biconvexen Crownglaslinse von ungleichen Krümmungen, deren flächere nach außen gekehrt ist, und aus einem rückwärts daran liegenden concav convexen Flintglas, dessen hohle Vorderfläche der Hinterfläche der ersten Linse entspricht, wird bei gehörig gewählten Radien für sowohl parallele als divergente Strahlen gut zeigen; für nahe Gegenstände jedoch kehrt man die Stellung um.

Um die Radien einer Crownglaslinse von bestimmter Brennweite zu finden, nimmt man gewöhnlich das Brechungsvermögen $n = 1{,}53$. Aus unsrer Formel $p = \frac{f\,g}{(n-i)\,f + g}$ hat man z. B. für die Brennweite 10 Zoll, die gleichen Radien einer beiderseits convexen Linse $f = 10{,}6$; sollen diese Radien im Verhältniß 5 : 8 stehen, so ist $g = 13{,}8$ und $f = 8{,}6$; ein Planconcavglas von derselben negativen Brennweite hat $f = -5{,}3$. Die Brennweite einer Convexlinse ist gleich deren Abstande von dem Bilde, das sie von entfernten Gegenständen rein auf der Wand entwirft; der Radius eines Hohlglases ist gleich der doppelten Entfernung des Bildes, das auf einem zwischen Glas und Gegenstand gehaltenen Papierstreifen erscheint, oder kann auch mit einem convexeren Glase auf einem nach der Formel $p = -\frac{P\,p'}{P - p'}$ berechneten Maßstab gemessen werden, wo $p'$ für das Hohl-, $P$ für das Convexglas.

## Von optischen Instrumenten.

Die wichtigsten sind die Fernröhre und die Mikroscope. Je näher ein Gegenstand dem Auge gebracht wird, desto größer erscheint er, wie später noch mehr

erhellen wird. Eine Sammellinse läßt nun den Gegenstand so groß sehen, als wenn er recht nahe am Auge wäre, und doch zugleich so deutlich wie in der deutlichsten Seheweite; eine solche Sammellinse, die man auch Lupe nennt, ist darum als ein einfaches Mikroscop zu betrachten. Nennt man h die Deutlichkeitsweite, a den Abstand des Gegenstandes, so findet man geometrisch die Vergrößerung der Lupe $= \frac{h}{a}$; da aber in der Brennweitenformel $\alpha = h$ zu nehmen ist, so ist auch $m = \frac{h}{p} + i$. Eine Linse vergrößert demnach mehr für ein weitsichtiges Auge als für ein kurzsichtiges, und um so mehr, je kürzer ihre Brennweite ist. Die Deutlichkeit hängt von der Größe der sphärischen und Farbenabweichung ab, man muß demnach möglichst durch die Mitte der Linse sehen. Durch mehrfache Linsen (Dupleten ꝛc.) läßt sich die Abweichung vertheilen und ihre Wirkung mindern. Die Helligkeit nimmt mit der Größe der Linsenöffnung und mit der Brennweite zu; doch darf man erstere nicht zum Schaden der Deutlichkeit des Feldes steigern, und letztere mindert die Vergrößerung, daher man die Helligkeit gewöhnlich durch Hohlspiegel unten, oder Sammellinsen oben, welche Licht auf den Gegenstand concentriren, verstärkt. Das Gesichtsfeld wird um so größer, je größer die Oeffnung und je näher das Glas am Auge ist, fällt daher bei starken Vergrößerungen klein aus. Aus Edelsteinen, Glaskügelchen, Wassertropfen ꝛc. erhält man auch Mikroscope. Läßt man durch eine Linse ein Bild von einem Gegenstand, der wenig außer ihrer Brennweite steht, erzeugen,

und betrachtet dieses vergrößerte Bild durch eine zweite Linse, so erscheint es durch diese neuerdings vergrößert, und man hat ein zusammengesetztes Mikroscop. Die erste Linse heißt Objectiv und ist am besten aplanatisch construirt, bisweilen auch mehrfach; die zweite heißt Ocular und kann auch aus mehreren Linsen bestehen, um die Abweichung zu mindern. Betrachtet man das durchs erste Objectiv entworfene Bild in verschiedener Entfernung mit einem zweiten Objectiv sammt Ocular, so wird man das Bild in verschiedenen Vergrößerungen sehen, und das Mikroscop heißt dann pankratisch. Läßt man die Strahlen, bevor sie zum Bilde sich vereinigen, noch durch eine Sammellinse gehen, so werden sie schneller convergiren, vom Bild aus aber wieder unter größerm Gesichtswinkel divergiren, und darum dieses größer erscheinen lassen. Diese Linse heißt Collectiv. Die Linsen müssen in einer geschwärzten Röhre befestigt seyn, in welcher an der Stelle des Bildes eine Blendung sich befindet, deren innerer Durchmesser dem des Bildes gleichkommen soll, damit falsches Licht abgehalten werde. Die Vergrößerung kann man aus den Brennweiten der Linsen und ihren Entfernungen rechnen, wenn man nur bedenkt, daß die Vergrößerung der vorausgehenden Linsen durch die der nachfolgenden zu multipliciren ist. Je kürzer die Brennweite des Objectivs, desto stärker die Vergrößerung. Braucht man verschiedene Objective, so muß das Mikroscop vom und zum Gegenstand bewegt werden können, was bei starken Vergrößerungen langsam zu geschehen hat. Sieht man bei ziemlicher, etwa 300maliger, linearer Vergrößerung im Flügelstaub des Kohlschmetterlings die Querstreifen, so kann man mit

der Deutlichkeit des Mikroskopes wohl zufrieden seyn. Die Vergrößerung läßt sich auch finden, wenn man ein Glasmikrometer als Object nimmt, und die Zahl der auf einmal übersehenen Felder nach ihrem Durchmesser mißt, und diesen Durchmesser in den Durchmesser des Diaphragma (der Blendung) dividirt. Multiplicirt man die so erhaltene Objectivvergrößerung mit der des Oculars, so hat man die ganze Vergrößerung des Instruments. Kennt man die Vergrößerung, so kann man das Glasmikrometer zur Bestimmung der Durchmesser der Gegenstände brauchen. Amici gebraucht statt des Objectivs einen elliptoidischen Spiegel, dem ein unter 45° geneigtes Spiegelchen die Strahlen des Objectes zuführt. Die Röhre des zusammengesetzten verticalen Mikroskops kann man durch ein Reflexionsprisma rechtwinklich beugen zum horizontalen Sehen, dann noch zum Zeichnen vors Ocular ein Reflexionsprisma, camera lucida bringen, dessen Kathetenflächen kleiner als die Pupille sind. Weniger für die Zwecke des Naturforschers als zu Demonstrationen geeignet sind das Sonnen- und das Lampenmikroskop.

Fernröhre sind entweder dioptrische oder catoptrische, Refractoren oder Reflectoren. Der Unterschied vom Mikroskop besteht darin, daß dieses sehr nahe, das Fernrohr sehr entfernte Gegenstände sehen läßt, und deren kleinen Gesichtswinkel vergrößert. Objectiv- und Ocularlinsen müssen ihren Krümmungsmittelpunkt in der Axe des Rohres haben, d. h. centrirt seyn. Das Ocular muß zum und vom Objectiv geschoben werden können, je nach der Entfernung des Gegenstandes und der Sehweite des Auges, für Kurzsichtige und für ferne Gegen-

stände näher am Objectiv seyn, als für Weitsichtige und nahe Gegenstände. Ein Fernrohr das kein wirkliches Bild enthält, sondern die Strahlen ehe sie zur Vereinigung kommen mit einem concaven Ocular auffängt, heißt Galiläisches oder Holländisches. Es wird nur mehr als Theaterperspectiv benützt, und seine Länge ist gleich der Differenz der Brennweiten des Objectivs und Oculars, seine Vergrößerung gleich deren Quotienten, und das Gesichtsfeld ist nur bei geringen Vergrößerungen hinreichend. Fernröhre mit einem wahren, aber verkehrten Bild heißen astronomische oder Keppler'sche, während solche mit zwei wirklichen Bildern, deren letztes aufrecht erscheint, bei vier Ocularlinsen terrestrische genannt werden. Das Objectiv soll in beiden möglichst aplanatisch seyn; sind aber die Crown- und Flintglaslinsen von einander entfernt, so ist dieß ein dialytisches Fernrohr. Die Länge dieser Fernröhre ist fast gleich der Summe der Brennweiten des Oculars und Objectivs; das Gesichtsfeld hängt von der Ocularöffnung, die Helligkeit von der Objectivöffnung ab; glänzendere Gegenstände, z. B. Sterne, ertragen darum stärkere Vergrößerung je nach den Ocularen. Durch die Verlängerung der Objectivbrennweite gewinnt man allerdings an Vergrößerung, doch fällt das Rohr unbequem aus und die Helligkeit leidet, während man bei verhältnißmäßig zu großer Objectivöffnung an Deutlichkeit verliert.

Katoptrische Fernröhre haben einen großen Hohlspiegel von Metall, der in seiner Brennweite ein verkehrtes Bild darstellt. In Gregory's Teleskop wird dieses Bild durch ein vorwärts gestelltes Hohlspiegel-

chen aufgefangen, aufrecht gemacht und zum Ocular geschickt, das in dem in der Mitte durchbrochenen großen Spiegel steckt; Cassegrain brauchte statt des kleinen Hohlspiegels einen kleinen Converspiegel, den er näher an den großen Spiegel rückte. Newton ließ die vom großen Hohlspiegel convergirenden Strahlen auf einen unter 45° geneigten kleinen Planspiegel fallen, so daß das Ocular zur Seite des Rohres angebracht werden muß. In Herschels großem Teleskop befand sich nur ein 40zölliger Hohlspiegel.

## Ueber Beugung und Polarisation.

Beugung ist die Ablenkung und Zerstreuung des Lichtes, welche es an den Kanten dünner Körper erfährt. Leitet man einen Bündel Sonnenstrahlen durch eine Oeffnung in ein dunkles Zimmer, und läßt ihn auf eine Linse von kurzer Brennweite fallen, wodurch die Strahlen im Brennpunkt sich vereinen und von da aus stark divergiren; bringt man ferner in den divergirenden Strahlenkegel, etwas vom Brennpunkt entfernt, einen undurchsichtigen Schirm mit dünnem Rand, und hinter diesen eine weiße Tafel, so bemerkt man auf dieser, daß der Schatten des Schirmes von einer Reihe farbiger Streifen nach außen begränzt ist, welche desto deutlicher erscheinen, je kleiner der Brennpunkt vom Schirm aus gesehen wird, und in ihrer fortgesetzten Ablenkung hyperbolische Gestalt zeigen. Spannt man in kleiner Entfernung vom Brennpunkt ein Haar oder einen andern dünnen Körper auf, so sieht man sowohl innerhalb als außerhalb des Schattens farbige Streifen; läßt man endlich den Strahlenkegel auf eine schmale

rechteckige Oeffnung fallen, so sieht man neben dem lichten Spalt abwechselnd dunkle und farbige Streifen. Diese Phänomene entstehen aus der gegenseitigen Einwirkung (Verstärkung oder Neutralisirung) der an den dünnsten Theilen der Gegenstände, gleichsam ihrer Atmosphäre, gebrochenen Strahlen, wie am deutlichsten an einem Lichtstrahle, der auf zwei unter nahe 180° zusammen geneigte Spiegel fällt, als die sogenannte Interferenz, nachzuweisen. Am schönsten sind Fraunhofers Versuche, welcher ein Planglas mit Gold belegte und in dieses parallele Linien radirte, und zwar einige dieser Gitter so fein, daß die Entfernung der Mitte je zweier Linien nur 0,0001223″ betrug. Die Beugung durch solche Gitter betrachtet man aber mit einem Fernrohr. Prachtvolle Erscheinungen erhält man auch, wenn man das Licht statt durch ein Gitter, durch mehrere runde oder eckige Oeffnungen leitet, was beim Sehen auf Sterne merkwürdige Figuren gibt. Auf der Beugung des Lichtes beruhen Farbenerscheinungen, die man wahrnimmt, wenn man mit blinzendem Aug, also durch die Haare der Augenbrauen, durch den dünnen Theil einer Vogelfeder, durch feine Zeuge, oder durch mit Herenmehl bestreutes Glas, auf einen lichtstarken, nicht zu nahen Punkt sieht; die dunklen Streifen, die man zwischen den eng aneinander geschlossenen, gestreckten Fingern bemerkt, ferner das Farbenspiel, welches sich zeigt wenn Sonnenstrahlen durch kleine Oeffnungen im Laub der Bäume gehen, oder wenn man durch Spinnweben nach der untergehenden Sonne sieht, vielleicht auch die Farben, die bei totalen Mondsfinsternissen um den Mond erscheinen. Beugungsphänomene

nimmt man auch durch Reflexion wahr, z. B. auf den Barton'schen Irisknöpfen, wo auf Metall in mehrere Felder höchst nahe und feine parallele Linien eingeschnitten sind; ferner bei der Perlmutter, deren Fläche mit feinen Furchen überzogen ist, die man selbst an ihren Abdrücken in Siegellack ꝛc. merkt. Einiges von dem Feuer geschliffner Diamanten dürfte auch der Beugung zuzuschreiben seyn, da ich unterm Mikroskop an ihren Flächen feine Risse gesehen habe. Ferner gehört hieher das Farbenspiel an den Flügeldecken mancher Insecten, da diese gefurcht oder mit feinen Schuppen überzogen sind; die Farben an Spinnfäden, Drathsaiten im Sonnenschein, und der schillernde Glanz der Vogelfedern, abgestandener Gläser, und mancher Farbstoffe, z. B. des Waids. — Eine besondere Classe von Beugungserscheinungen bilden die schönen Farben, die wir an sehr dünnen durchsichtigen Körpern wahrnehmen, z. B. an Seifenblasen, an dünn ausgeblasenen Glaskugeln, an jedem dünnen Bläschen, im Schaum von Flüssigkeiten, sowie an deren dünnen Schichten auf glatten dunklen Körpern, dann an den Oxydschichten erhitzter Metalle, zwischen den Sprüngen von Glas nnd Glimmer ꝛc. Sie hängen von der Dünne der beobachteten Schichte und von der Stellung des Auges ab; am regelmäßigsten sieht man sie aber in den Newtonianischen Ringen der zwischen einer nur schwach erhabenen Linse und einem Planglas eingeschlossenen Luft. Um den Berührungspunkt herum, welcher im reflectirten Licht schwarz erscheint, bilden sich nämlich mehrere Ringe von den prismatischen Farben, wenn weißes Licht, abwechselnd helle und dunkle Ringe aber, wenn homogenes Licht

einfällt. Beim durchgelassenen Licht sieht man die hellen Ringe an der Stelle der dunklen, und die dunklen an der der hellen, die farbigen aber complementär zu den im reflectirten Licht erschienenen. Bei achromatischen Objectiven sieht man diese Ringe auch, so lang die Linsen aufeinander liegen.

Der rhomboidale kohlensaure Kalk, auch isländischer Doppelspath genannt, hat, vielleicht weil die Winkelstructur sich in allen Partikeln zeigt, die Eigenschaft den eintretenden Lichtstrahl in zwei besondere unter einem Winkel auseinander gehende Strahlen zu theilen. Unter den acht Körperwinkeln des vollkommenen Krystalls sind zwei von drei gleichen stumpfen Winkeln eingeschlossene; eine Linie, durch sie hindurch heißt die Krystallaxe, und die durch die Axe und eine Kante der stumpfen Ecke gelegte Ebene heißt Hauptschnitt. Ein senkrecht auffallender Strahl theilt sich im Krystall in zwei Bündel, wovon das eine dem gewöhnlichen Brechungsgesetz gemäß ungebrochen durchgeht, das andere aber eine ungewöhnliche Brechung erleidet, indem es um 6° 12½′ gegen den spitzen Winkel des Rhomboeders abgelenkt wird, beide aber in einer zum Hauptschnitt parallelen Ebene bleiben. Ist beim schiefen Einfall die Einfallsebene mit dem Hauptschnitt parallel, so bleiben zwar beide Bündel in der Einfallsebene, doch ändert sich der Brechungswinkel des ungewöhnlichen mit dem Einfallswinkel; ist das Gegentheil der Fall, so entfernt sich der ungewöhnliche Strahl um so mehr vom Hauptschnitt, je größer der Winkel, den die Einfallsebene mit dem Hauptschnitt bildet. Schleift man zwei Ebenen senkrecht auf die Axe, so tritt nur beim schiefen Einfall Doppel-

brechung ein, und es entfernt sich hier der ungewöhnliche Strahl um so mehr von der Axe, je größer der Einfallswinkel. Läßt man auf eine zur Axe parallele Ebene einen Lichtstrahl so auffallen, daß die Einfallsebene senkrecht zur Axe steht, so bleiben beide Strahlenbündel in dieser Ebene und der gewöhnlich gebrochene Strahl hat das Brechungsverhältniß 1.6543, der ungewöhnliche jenes 1.4833; ist aber die Einfallsebene parallel zur Axe, so tritt der ungewöhnliche Strahl näher zum Loth als der gewöhnliche. Uebrigens sind oder können doppelbrechend werden alle festen Körper, und manche haben zwei Axen, in denen keine Doppelbrechung stattfindet. Jene bei welchen der Brechungsinder des ungewöhnlichen Strahls kleiner als der des gewöhnlichen ist, heißen negative, wie der Doppelspath, Turmalin, Sapphir, Beryl 2c.; jene bei welchen er größer ist, positive, z. B. Quarz, Eis 2c. Prismen von doppeltbrechenden Krystallen geben natürlich auch zwei Farbenbilder.

Wenn man Doppelspath-Rhomboeder übereinander stellt und durch sie nach einem kleinen Gegenstand sieht, so bemerkt man, im Fall die Hauptschnitte aufeinander senkrecht oder zu einander parallel sind, nur zwei, in jeder andern Stellung vier Bilder, die aber nur dann von gleicher Helligkeit erscheinen, wenn die Hauptschnitte einen Winkel von 45° einschließen. Demnach haben die Strahlenbündel, in welche sich ein Lichtstrahl im Doppelspath spaltete, nicht ringsum auf allen Seiten dieselbe Eigenschaft. Aehnliches geschieht aber, wenn ein Strahl auf eine polirte Glasplatte unterm Winkel von 35½° auffällt, und bei der parallelen Lage des Hauptschnittes

eines Doppelspath-Rhomboeders nur der gewöhnliche Strahl, bei der senkrechten Lage der ungewöhnliche durchgeht, und in jeder andern zwei Bilder erscheinen. Man nennt dieß die Polarisation, welche, aber in verkehrter Ordnung, auch eintritt, wenn der Lichtstrahl unter demselben Winkel durch mehrere Glasplatten hindurch gegangen ist. Außer andern Krystallen besitzt besonders der rothbraune Turmalin die Eigenschaft das Licht durchzulassen, wenn seine Axe auf dessen Reflexionsebene senkrecht steht, und es auszulöschen, wenn sie parallel damit ist. Wenn irgend ein Krystall zwischen zwei unter schiefen Winkeln gekreuzten Turmalinen steht, ergiebt sich, ob er doppelte Bilder hat. Dünne Blättchen von doppelbrechenden Krystallen geben im polarisirten Lichte verschiedene schöne Farbenerscheinungen. Farbenringe, ähnlich den Newton'schen, erhält man, wenn man eine Doppelspathplatte, welche senkrecht gegen die Axe geschnitten ist, zwischen zwei Turmalinplatten legt. Kreuzen sich die Axen der Turmaline, so sieht man ein schwarzes Kreuz, die Farbenringe durchschneidend. Läßt man bis zur Rothglühhitze gebrachtes Glas schnell abkühlen und bringt es unter den Polarisationsspiegel, so sieht man, wenn der die Erscheinung zeigende Spiegel mit dem das Licht polarisirenden parallel steht, Farben mit einem weißen Kreuz; wenn er aber rechtwinklig dagegen gestellt ist, ein schwarzes Kreuz. Solches Glas, als Würfel auf allen sechs Seiten polirt, zeigt auch ohne Spiegel, wie ich gefunden, in bestimmten Lagen Polarisationserscheinungen. Auch gepreßtes und gebogenes Glas gibt ähnliche Erscheinungen. Von doppeltbrechenden Krystallen verschlucken die einen längs der Axe Licht von einer bestimmten Farbe,

und senkrecht darauf Licht von einer andern Farbe. Der Sapphir ist in der Richtung der Axe dunkelblau, senkrecht darauf gelblichgrün; das schwefelsaure Eisenoxyd in jener Richtung roth, in dieser grün. Beim Amethyst tritt das polarisirte Licht blau heraus, wenn die Axe mit der Polarisationsebene parallel ist, und hellroth, wenn sie senkrecht gegen diese Ebene steht; der Dichroit oder Jolit ist im ersten Fall blau, im zweiten gelblich weiß; der blaue Topas im ersten weiß, im zweiten blau. Bei einen Topas, dessen einer durch die Doppelbrechung entstandener Strahl gelb, der andere blaßroth war, verschwand der erstere durch Glühen, der andere trat etwas stärker hervor.

## Vom Auge.

Der uns wichtigste Theil des Auges, der Augapfel (bulbus), liegt in einer konischen Knochenhöhle (orbita), welche mit Fett gut ausgepolstert ist. Seine Bewegung geschieht durch sechs Muskeln, wovon die vier geraden einzeln die Bewegung in horizontaler und verticaler Richtung, und zwei zusammen in schiefer Richtung (diagonaliter) bewirken. Einige drehende Bewegung um die Augenaxe wird durch die beiden schiefen Muskeln bewirkt. Die durchscheinenden Augenlieder (bei ihrer Bedeckung wird es nämlich finsterer, als wenn sie einfach geschlossen sind) dienen zum Schutz nach außen, und die an ihnen liegenden Thränendrüsen sondern eine Feuchtigkeit aus, durch welche der Vordertheil des Augapfels immer klar bleibt. Die nächste Hülle des Augapfels ist die mit dem Augenlied zusammenhängende Bindehaut (conjunctiva); darauf folgt die weiße un-

durchsichtige harte Hart (sclerotica) von 5''' Radius, gleichsam die Stütze oder der Grund des ganzen Augapfels, welche nach vorne plötzlich stärker gewölbt ist, nämlich einen convexen Vorsprung von $3\frac{1}{2}$''' Radius bildet, der durchsichtig ist, und Hornhaut (cornea) heißt. Dicht unter der harten Haut, und mit ihr durch ein bräunliches Zellgewebe verbunden, findet sich die Aderhaut (choroidea), und diese ist nach innen mit einer in ihren Zellen schwarze Kügelchen, das sogenannte Pigment, enthaltenden Membran bekleidet. Das Pigment dient, die innern Reflexe im Auge zu verhindern, und fehlt den Albinos oder Kakerlaken, wie man die weißen Mohren auch nennt. Wo sich die harte Haut mit der Hornhaut vereinigt, wird sie von einem schmalen weißen Ring, dem Strahlenbande umgeben, welcher in 70—90 strahlenförmigen Fortsätzen (processus ciliares) ins Innere des Auges verläuft. Zwischen letzteren und der Hornhaut befindet sich die Regenbogenhaut (iris), welche innen dunkel gefärbt ist, davon auch uvea heißt, und eine kreisförmige Oeffnung, die Pupille oder Sehe (ἡ κόρη), enthält. Aus einer am hintern Ende der Augenhöhle befindlichen Oeffnung tritt etwa 1 Linie unter der Augenaxe der Sehnerve in den Augapfel und breitet sich, nachdem er die tunica sclerotica und choroidea durchdrungen hat, zu einem netzartigen Gewebe, der retina, aus, welche bis zu den processus ciliares reicht. Am Ende der Augenaxe, der Pupille gegenüber, zeigt die Retina oder Netzhaut einen gelben Fleck, der nach Burow erhabener, nach andern hohler ist als die Netzhaut, und dessen dünner Mittelpunkt foramen centrale heißt. Die Sehnerven beider Augen treten vor ihrem

Eintritt in die Augenhöhlen im sogenannten Chiasma zusammen, und theilen sich hier, so daß die Fasern der rechten Seite des rechten und linken Nerven zum rechten Auge, die der linken Seite des rechten und linken Nerven zum linken Auge gehen. Hinter der Iris liegt die biconvexe Krystalllinse, welche von einer Membran, der sogenannten Kapsel, eingeschlossen ist, aus Blättchen von nach innen zunehmender Dichte besteht und schön durchsichtig ist, im Alter aber gelb werden kann. Daß letzteres Regel sey, sowie daß es von chemischer Wirkung des Lichtes herrühre, wie von Melloni beh uptet worden, scheint sich nicht zu bestätigen. Durch die Iris wird der innere Augenraum in zwei ungleiche Kammern geschieden, von denen die vordere kleinere die wässerige Feuchtigkeit (humor aqueus), die hintere größere die Glasfeuchtigkeit enthält. Letztere ist von einer zarten Haut, der hyaloidea, in kleine Zellen getheilt.*) Das

*) Ueber Thieraugen will ich nur folgendes anführen: Einige Zoophyten haben Lichtgefühl; Sehorgane werden erst bei den Anneliden etwas deutlicher, bei Schnecken an den Hörnern. Die Gliederthiere haben für selbe entweder glänzende Punkte, Stemmata, oder conglomerirte Augen mit gemeinsamer oder besonderer Hornhaut und unzähligen Röhrchen; die Spinne besitzt acht Augen mit kuglichter Linse; der Tausendfuß etwa 20, mit einem einzigen größern hinter den andern. Die Fliege hat an 8000 Kegelchen, deren convexe Basis sechseckig erscheint, mit rothem Pigment, und nach Wagner von einer Netzhaut an ihrer Spitze umfaßt. Viele Augen ersetzen den Mangel an Beweglichkeit eines einzelnen; bei den Krustenthieren ist aber schon das Auge auf einem Stiel sehr beweglich, der Monoculus jedoch hat mehrere Linsen unter einer Hornhaut. Die Sepien haben Linse, Iris und Glaskörper, aber keine Hornhaut, welche auch bei andern Fischen

Brechungsverhältniß der wässerigen Feuchtigkeit ist 1,3366, das der gläsernen 1,3394, wenig von der des Wassers verschieden, und jenes der Krystalllinse zwischen 1,3767 und 1,399. Aus Krause's Messungen (Pogg. Annalen XXXIX) mögen hier folgende Angaben stehen, die bei verschiedenen Personen etwas von einander abweichen:

Augapfel: äuß. Axe 11‴05
innere Axe 10‴
äuß. Durchm. 10,3
innerer senkr. Durchm. 9,4.

Linse: Durchmesser 4‴
halbe große Axe 2‴ } Vorfläche elliptisch.
halbe kleine Axe 0,91
Entfernung von der Hornhaut 1,35

---

sehr flach ist, indem die wässerige Feuchtigkeit im Wasser nichts nützt; dagegen ist die Linse dicht und kuglicht. Nach Brewster ist die Linse, z. B. beim Stockfisch, aus concentrischen sphärischen Lamellen, welche irisiren, und deren Fasern durch feine unzählige Zähnchen an den Rändern ineinandergreifen, zusammengesetzt. Fische, die tief im Wasser weilen, haben wie nächtliche vierfüßige Raubthiere große Augen. Die Schlangen führen über der Hornhaut eine Membran, und da beim Häuten Luft dazwischen kömmt, werden sie auf einige Zeit blind. Das Chamäleon kann jedes Auge für sich überallhin bewegen. Die Vögel haben stark gewölbte Hornhaut, dagegen die Linse zum Fernsehen flach; der Nutzen des Fächers, den viele derselben in der Glasfeuchtigkeit haben, ist noch unbekannt; die Nickhaut aber die einige Eulenarten besitzen, ist eine dritte Membran. Augen zur Seite geben großes Gesichtsfeld, und bei Pferden können die Augenaxen Winkel nach vorn und nach hinten bilden. Bei Katzen ist die Pupille eine senkrechte Spalte, die in der Nacht sich sehr erweitert.

Parameter 4,‴99 } Hinterfläche
Entfernung von der Netzhaut 6,8 } parabol.

Hornhaut: Dicke mitten 0,‴35
Dicke, Rand 0,5
Rad. Vorfläche 4,12
größter Bogen 80° 3′
Parameter Hinterfläche 5,‴55

Iris breite 1,‴5
Pupilldiam. 2,25
Entfernung der Hornhaut 1,15
Wölbung der Netzhaut, elliptisch.
halbe große Axe 5,‴05
halbe kleine Axe 4,15.

## Vom Sehen.

Von jedem leuchtenden Punkt fällt ein Strahlenkegel aufs Auge, wovon der die weiße Haut treffende Theil zurückgeworfen wird, und der auf die Hornhaut fallende in die wässerige Feuchtigkeit eindringt. Da diese Feuchtigkeit eine convex-concave Sammellinse bildet, so werden die Strahlen gegen die Augenaxe gebrochen, und gelangen in convergirenden Richtungen auf die Iris, welche sie in Farbe und Gestalt sichtbar machen; die Strahlen aber, welche die Pupille treffen, kommen zur Krystalllinse, und werden durch deren stärkere Brechung zu so großer Convergenz gebracht, daß ihr Vereinigungspunkt als Bild des leuchtenden Punktes ziemlich genau auf die Netzhaut fällt, indem die Glasfeuchtigkeit wieder geringere Brechungskraft als die Linse hat. Eine Netzhaut ohne Linse und Cornea würde nur eine allgemeine Lichtempfindung gestatten,

etwa wie wenn Licht durch Röhren aufs Auge fiele, also nicht in einem Punkte gesammelt würde. Steht ein ausgedehnter Gegenstand vor dem Auge, so muß von jedem seiner Punkte ein Bild auf der Netzhaut erscheinen, da wo dessen Hauptstrahl, d. h. der Strahl, welcher mit der Axe vor und nach der Brechung gleichen Winkel bildet, dieselbe trifft. So entsteht auf der Netzhaut ein kleines verkehrtes Bild des Gegenstandes mit dessen feinsten Theilen und Lichtstufungen, wie man es an einem todten Auge noch bemerken kann, besonders bei den weißen Kaninchen. Dieses Bild wirkt auf den Sehnerven und durch ihn auf das Gehirn oder aufs Sensorium. Einige haben die Sehempfindung der choroidea, ja selbst der Glasfeuchtigkeit ohne Fug zugeschrieben. Verliert die Krystallinse ihre Durchsichtigkeit, wie beim grauen Staar oder Katarakt, so kann wie beim Fell auf der Hornhaut kein Strahl auf die Netzhaut gelangen, und das Auge sieht also nicht; wird aber die verdunkelte Linse weggenommen oder zur Seite gedrückt, so erhält das Licht freien Durchgang, und es ist wieder möglich zu sehen, wenn auch nicht in der Nähe, weil die Strahlen dann nicht mehr genug convergent werden. Wird dagegen die Netzhaut gelähmt, so bildet sich die Amaurose, der schwarze Staar; es tritt abermals Erblindung ein, wenn auch alle vordern Theile völlig durchsichtig bleiben. Der grüne Staar (glaucoma) entsteht von Zersetzung der Glasfeuchtigkeit, und im punktförmigen Staar ist nur irgend eine kleinere Stelle verdunkelt. Die Stelle wo der Sehnerv ins Auge tritt, also noch nicht in feine Fasern zertheilt ist, das foramen centrale, empfindet keinerlei Lichtreiz, und heißt darum

auch punctum coecum. Von dessen Vorhandenseyn überzeugt man sich, wenn man auf 3 Oblaten sieht, die um 2 Fuß von einander abstehen. In 10 Fuß Entfernung verschwindet die mittlere, auf die man das eine Auge geheftet hat, da dann ihre Strahlen die fast ⅛ Zoll große Stelle des punctum coecum treffen.

Um gut zu sehen, muß man vom beobachteten Gegenstand eine hinreichende Menge Licht ins Auge bekommen. Wird die Beleuchtung zu schwach, so ist das Sehen unmöglich; ist sie zu stark, so schwächt sie die Sehnerven durch Ueberreizung, und man erblindet darum beim Sonnensehen wenigstens momentan, bei ganz plötzlicher und heftiger Einwirkung wohl auch für immer. Blaue und graue Augen hält man für dauerhafter als braune und schwarze; da aber die erstern bei geringerm Pigment empfindlicher sind, so dürfte es zu bezweifeln seyn.

Um die Augen gut zu erhalten, gebrauche man nie zu starkes Licht um sie nicht zu blenden, aber auch nicht zu schwaches um sie nicht zu viel anstrengen zu müssen; man hüte sich auf glänzende Gegenstände und grelle Farben längere Zeit zu schauen; man meide plötzlichen Lichtwechsel, stelle darum die Betten so, daß das Licht beim Aufwachen nicht direct in die Augen kömmt, verschließe aber auch nicht die Fenster dicht gegen das Licht, weil dadurch die Augen nur noch reizbarer werden; auch künstliche Dunkelheit, wo noch einiges Licht durch Ritzen dringt, ist nicht gut. Lichtschirme sollen nicht zu viel gegen das Licht abschließen, sind besser am Licht als am Auge angebracht, und am zuträglichsten von grünem Flor. Zu kleine blasse Schrift, zu nahes Lesen, sowie bei Dämmerung und Mondschein, auch wenn lang-

dauernd bei Kerzenlicht, macht kurzsichtig, und das Studiren unmittelbar bei und nach dem Essen schadet ebensowohl den Augen als den Verdauungsorganen. Kaltes reines Wasser ist den Augen sehr zuträglich, nur darf es nicht alsbald nach dem Aufstehen vom Bett, oder nach großer Anstrengung angewendet werden.*)

Durch die Erweiterung welche je nach Bedürfniß die Pupille erfährt, und welche wahrscheinlich durch ein Vordrängen hinterer Augapfeltheile entsteht, kann man bei schwächerem Licht, und durch deren Zusammenziehen auch bei etwas starkem Licht ohne besondern Nachtheil sehen, weil durch die Größe der Pupille eben die Menge des einfallenden Lichtes modificirt wird. Die Pupille wird aber nicht bloß enger bei starkem Licht, sondern auch bei Bewegung des Auges, und weiter nicht bloß bei schwachem Licht, sondern auch beim Schließen des andern Auges; ebenfalls erweitert sie sich, je mehr der zu betrachtende Gegenstand sich entfernt, so daß nach Lambert ihr Durchmesser beträgt, im Spiegel gemessen,

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| bei | 1 Fuß | 3′ | 6′ | Entfernung. |
| | 1‴,14 | 1‴,7 | 2‴,31 | |

Damit ferner das Bild auf der Netzhaut wahrgenommen werde, darf sein Gegenstand nicht zu klein seyn, bei mäßiger Erleuchtung nicht weniger als $^1/_{1000}$ Zoll breit und lang seyn. Senkrechte Linien sieht man indeß noch leichter als horizontale, wenn nicht mehrere sich

*) Ich kann nicht umhin den Augenärzten dringend Versuche über die Anwendung destillirten Hasenfettes zu empfehlen, da ich von demselben in mehreren schwierigen Fällen nicht bloß emollirende, sondern radical heilende Wirkungen beobachtet habe.

mit einander verwirren. Plateau sah Weiß noch unterm Winkel von 12 Sec., Roth unter einem solchen von 23″ und Blau bei 26″, im Schatten aber war dieser Winkel um $1/_{3}$ größer. Nach Pollack dagegen ist ein weißer Faden in einem Abstand von 15000 seiner Durchmesser, also unter 13″,7 sichtbar, ein grüner unter $11^1/_2$″, ein rother bei 9″,9, was freilich auch von der Intensität der Farben abhängt. Die Asteroiden sind noch unter $1^1/_7$″ Gesichtswinkel kenntlich, Fixsterne unter noch kleinerem, doch erscheinen Doppelsterne erst bei 30″ Abstand getrennt. Ein Schüler des berühmten v. Bär soll ein Haar von $1/_{60}$‴ auf 28 Fuß Weite gesehen haben. Nimmt man nach Weber die Größe der kleinsten Netzhautkügelchen zwischen $1/_{6000}$ und $1/_{8400}$ Zoll an, und soll das kleinste Bild vielleicht mit ihr übereinstimmen, so dürfte der gewöhnlich angenommene kleinste Sehwinkel von 40 Sec. bei 0″,00011 Größe des Netzhautbildes allerdings auch noch kleiner werden. Ob jede Papille einer eigenen Nervenfaser zugehöre, ist nicht ausgemacht; vielleicht läßt sich dieses annehmen, weil man oft noch lange nach der Exstirpation eines Auges Funken fliegen sieht. — Nach Burow muß man die Augenaxe beim Lesen schon verrücken, wenn auch die Zeile nur 1″,5 lang ist, und scharf sieht man nur mit dem gelben Fleck. Zum gut Visiren gehört scharfe Axenrichtung; man sieht aber noch, ohne das Auge zu wenden, unter einem Winkel von 30° mit der Axe, während doch der Richtungsstrahl schon bei 10° den Pupillenrand streift. Der Richtungsstrahl geht durch den optischen Mittelpunkt, dieser ist aber nicht gleich mit dem mathematischen des Augapfels, sondern nach Fries nahebei der Mittelpunkt

der Krümmungen der Hornhaut und der Netzhaut, zwei Linien vom Drehungspunkt des Auges entfernt.

Ein jeder Lichteindruck braucht zu seiner Entwicklung wie zum völligen Verschwinden eine gewisse Zeit, die nach der Stärke und Farbe des Lichtes sich richtet. Die mittlere Dauer aller Farben vom Moment der größten Intensiät bis zum Verschwinden beträgt gegen 0,34 Zeitsecunden. Weiß bringt den dauerndsten Eindruck hervor, ihm folgen Gelb, Roth, Blau, und die stärksten Eindrücke dauern, wie bei andern Sinnen, am längsten, der Anfang ihrer Abnahme tritt aber am schnellsten ein. Folgen die Eindrücke schnell aufeinander, so gehen sie ineinander über, wie man das an einer geschwungenen glühenden Kohle sieht, die einen leuchtenden Kreis zu bilden scheint.

Da das Auge eine linsenförmige Bildung ist, so sollte es auch gemäß dioptrischen Gesetzen sphärische und chromatische Abweichung haben, und also nur mit Centralstrahlen deutlich sehen. Die sphärische Abweichung wird aber ziemlich gut gehoben: durch den Bau der Krystalllinse, welche nach vorn elliptisch, also erst am Rand stark gekrümmt ist, so daß die Einfallswinkel der wirksamen Strahlen nicht zu groß werden, welche auch in ihrer Mitte größere Dichtigkeit besitzt, wodurch die Vereinigungsweite der der Axe näheren Strahlen verkürzt wird; ferner durch die Stellung der Iris hinter der Hornhaut, wo sie als Blendung die zu stark abweichenden Strahlen aufhält, unter welchem Winkel sie sonst auch einfallen mögen; endlich durch die Wölbung der Netzhaut, gemäß welcher die Strahlenkegel vom Rand oder von Gegenständen außerhalb der Axe, die also

wegen größerer Distanz auch von kürzerer Vereinigungsweite sind, noch auf derselben zusammentreffen. Der Achromatismus scheint durch die zweckmäßige Zusammensetzung der verschiedenen Feuchtigkeiten des Auges bewirkt zu seyn, obwohl nur theilweise, weil nach Fraunhofer für Roth und Blau das Ocular eines Fernrohrs verstellt werden muß, und schmale Lichtlinien mit Farbensaum erscheinen. Zu seiner Berechnung darf man jedenfalls die Linsendicke nicht vernachlässigen.

Zur Deutlichkeit des Bildes ist auch nöthig, daß die Vereinigungspunkte der von den Theilen eines Gegenstandes kommenden Strahlen ziemlich genau auf die Netzhaut fallen. Nun ist aber die Vereinigungsweite für ferne Gegenstände kleiner als für nahe, und dennoch sieht das Auge auf verschiedene Weiten mit großer Bestimmtheit, also muß es dafür ein Adjustirungs- oder Accommodationsvermögen haben, das man schon aus der Anstrengung der Muskeln beim Wechsel des Blickes zwischen Ferne und Nähe, besonders aber in letzterer, merkt. Einige behaupten nun, daß die Convexität der Hornhaut größer werde, wenn wir auf nahe Gegenstände sehen, was Young durch Versuche über den Drehungspunkt zu widerlegen suchte, während er selbst der Ansicht war, daß die Fibern der Krystalllinse sich spannen und deren Convexität vermehren. Nach Pouillet dient die Verengerung der Pupille beim Herannahen der Gegenstände auch, um die auf den weniger dichten Rand der Linse fallenden, also dann später zur Vereinigung kommenden Strahlen abzuhalten, während diese bei Erweiterung der Pupille für ferne Gegenstände die durch die Mitte gehenden an Wirkung weit überwiegen.

Durch Erweiterung der Pupille mit Stramonium ꝛc. ergibt sich hierin wirklich einiger Unterschied, man kann aber auch anderntheils durch ein enges Loch in sehr geringer Entfernung noch lesen; doch frägt es sich, ob wirklich auf die Randstrahlenvereinigung für größere Distanzenunterschiede viel zu rechnen sey, um so weniger vielleicht, als der Rand auch noch stärker gekrümmt ist, und eine künstliche Pupille nicht viel wirkt. Brewster, auf den Umstand gestützt, daß Personen, deren Krystalllinse wegoperirt ist, die Adjustirung verlieren, behauptet, daß diese in der Annäherung und Entfernung der Linse zur Iris in Verbindung mit der Größenänderung der letztern liege. Die Bewegung der Linse geschieht wohl durch Füllung und Leerung des Blutes in den Ciliarfortsätzen, und oben habe ich schon angedeutet, daß die Pupillenerweiterung etwa von einem Vordrängen der Linse, welches Hueck auch beobachtet haben will, bedingt sey; besser wäre freilich, wenn dieß auch anatomisch erwiesen würde. Eine Krümmungsveränderung der Linse kann vorstehende Erscheinungen, die jede für sich wohl zu gering ausfallen, noch verstärken; sie hängt aber großentheils von der Vitalität der Kapsel ab, an welcher einige zweifeln, denn Smith fand, daß die bloße Linse in heißem Wasser sich nicht verändere; auch hat Haldat durch mechanischen Druck auf die Linse beobachtet, daß diese sich trübe und weniger durchsichtig werde, was freilich bei der Linse, die sich noch im lebenden Auge befindet, ganz anders sich verhalten mag. Die Rechnung von Fries spricht eher für eine Aenderung der Krümmung der Linse, als für ihr Zurückweichen. Nach Moser kann das Auge 0''',23

der hintern Vereinigungsweite, also Entfernungen wie zwischen 4″,3 und 4″,8, dann 10″,4 und 15″,3, auch 30″ und ∞ ohne viel Adaptirung durchgehen. Die Weite auf welcher aber ein gesundes Auge am deutlichsten sieht, die mittlere Deutlichkeitsweite beträgt nahe 10 Zoll. Bohrt man in ein Kartenblatt zwei oder mehrere, aber nicht zuviel Löchlein, und sieht durch diese auf einen feinen Gegenstand, z. B. eine Nadel, so erscheint diese, wenn sie sich nicht in der Deutlichkeitsweite befindet, doppelt oder mehrfach. Es ist dieß der nach dem Ingolstädter Jesuiten Scheiner benannte Versuch, und er beruht darauf, daß nur Bilder, die in die Richtungslinie fallen, auf der Netzhaut sich decken, dort aber die getrennten Bilder von keinem stärker wirkenden Bild überwogen werden. Thut man in ein Auge Belladonnenextract, so werden die Gränzen des deutlichen Sehens näher gerückt, und man sieht außerhalb ihr auch doppelt. Wenn man durch zwei Löchlein im Kartenblatt einen entfernten Punkt einfach sieht, und dann das Auge wendet, so sieht man ihn jetzt dreifach. Dieß kommt daher, weil die beiden Augenaxen sich nicht in diesem Punkt kreuzen, wovon wir bald noch einige Proben kennen lernen werden. Beim Abwärtssehen convergiren die Augenaxen leichter als beim Aufwärtssehen. Heftet man die Aufmerksamkeit auf einen nahen Punkt, so convergiren die Augenaxen darnach, und verdeckt man dann das eine Aug, so ist die Richtung seiner Axe nur nahe dieselbe; öffnet man's aber schnell wieder, so sieht man doppelt, und zwar das rechte Bild dem linken Aug, und umgekehrt, zugehörig, aus welchem Umstand hervorgeht, daß sich die Augenaxen nun in einem zu

fernen Punkt schneiden, denn unterhalb der Deutlichkeitsweite würde auch das rechte Bild fürs rechte Aug treffen. Nach all' diesem bleibt uns noch die Frage, wie denn nahe und ferne Gegenstände zu gleicher Zeit fast ebenso deutlich wie in der Aufeinanderfolge gesehen werden. Es liegt hierin eine nicht geringe Schwierigkeit, wie wir sie immer finden, wenn wir an eine Lebensfunction den mathematischen Maaßstab anlegen wollen. Die Natur liebt weder streng geometrische Linien noch vollkommen einfache Formeln, wie z. B. auch aus der Gestalt der Hornhaut erhellt, die eine Curve von sehr zusammengesetzter Ordnung bildet. Es mag darum auch wohl annäherungsweise für wahr gelten, wenn ich sage: die Netzhaut ist für das Sehen geschickt, nicht nur wenn ihre Papillen einen Vereinigungspunkt der Strahlen erhalten, sondern auch, wenn ein Durchschnitt eines Kegels convergirender oder nach der Vereinigung divergirender Strahlen auf sie fällt, der nicht größer ist als eine solche Papille, die, wie wir oben gesehen haben, doch auch nicht ein mathematischer Punkt ist, sondern z. B. im Auge des Lapin von Gottsche und von Treviranus = 0,0033 Millimeter groß gefunden wurde. Auch bei parallelen Strahlen fällt das Bild noch um mehr als eine Linie hinter die Retina, auf die einzelne Papille kann also unmöglich ein bloßer Punkt fallen. Je weniger übrigens von einem Gegenstand Punkte des Bildes auf eine Papille fallen, desto deutlicher können sie auch wahrgenommen werden.

Sehen wir nach ein und demselben Gegenstand jetzt mit dem einen Auge und dann mit dem andern, so sehen wir ihn in Bezug auf die dahinterstehenden

Gegenstände nicht in derselben Lage wie mit beiden Augen, ja fürs eine Auge (gewöhnlich das linke) weiter davon abstehend als fürs andere; dennoch erscheint er, eben wenn wir ihn mit beiden Augen zugleich betrachten, nicht doppelt, und wird gleichsam nur durch seinen Kernschatten auf der Netzhaut wahrnehmbar, wenigstens urtheilt die Seele darnach. Nicht bloß aber den Durchschnittspunkt der Augenaxen, wie vorhin schon gesagt, sieht man einfach, sondern alle Punkte, zu denen Richtungslinien gehören, welche in Bezug auf die Axe gleichliegende Stellen der Netzhaut treffen, oder das sogenannte Horopter bilden, welches eine Ebene ist, senkrecht auf die Ebene der Gesichtsaxen durch den fixirten Punkt gehend und von einem Bogen begränzt, dessen Centrum im Auge liegt, so daß seine Peripheriewinkel von gleichen Basen einander gleich sind. In der Horizontalrichtung können zu gleicher Zeit nur von einem Punkt in Bezug auf die Axen übereinstimmende Strahlen auf die Netzhaut gelangen, denn die andern fallen immer beim einen Aug nach rechts, wenn beim andern nach links, und umgekehrt; in jener Ebene aber können Strahlen für beide Augen zugleich nach oben oder unten treffen. Man bekömmt nun gewöhnlich nur den Eindruck der Strahlen des Horopters und sieht darum alle Dinge einfach, indem sich die Bilder oder ihre Wahrnehmungen decken, gerade wie man mit zwei Händen befühlt einen einzigen Gegenstand nur als einfach kennen lernt. Es ist dazu keine Vereinigung der Sehnerven nöthig, denn diese würden nie ein Doppeltsehen gestatten, welches doch in gewissen Fällen eintritt; der Geist achtet eben in seiner gewöhnlichen Fassung nur

auf eine einzige Sache. Daß man wirklich auch doppelt sieht, beweist sich, wenn man z. B. durch Druck auf ein Auge die Axenrichtung desselben gegen die des andern ändert, so daß sie nicht mehr auf die Deutlichkeitsweite trifft. Im eigentlichen Scheiner'schen Versuch, wo ein Strahl diesseits, der andere jenseits der Axe trifft, verschwindet, wie schon eine einfache Zeichnung nachweist, durch Deckung eines Loches zur Rechten ein Bild zur Linken wenn der Gegenstand zu nah, ein Bild zur Rechten wenn er zu fern steht. Sieht man mit einem Auge durch eine Röhre, mit dem andern direct auf ein Licht, so erscheint dieses doppelt, und zwei Röhren sich zu durchkreuzen. Bei solcherlei Doppelsehen, das bei kranken Augen sogar constant werden kann, sieht man immer ein Bild stärker als das andere. Die obenangedeutete oft große Verschiedenheit des linken Auges vom rechten in Beurtheilung der Lage eines Gegenstandes, z. B. des vorgehaltenen Fingers, weist übrigens darauf hin, daß wir doch auch im Horopter noch doppelt sehen würden, wenn nicht bald das eine, bald das andere Bild überwöge, so daß ein Auge jedesmal beim Einfachsehen das andere unterstützt, daher wir mit zwei Augen auch lebhafter und weiter sehen als mit einem. Beim Sehen durch Fernröhre und kleine Oeffnungen schließt man jedoch gerne das eine Auge, damit das andere sich um so mehr öffne und ungestörter sey.

Das Bild auf der Netzhaut ist nach dioptrischem Gesetze ein verkehrtes, wie man auch erfährt, wenn man in einen durch ein kleines Loch gegangenen Strahlenkegel mit dem Finger etwa von unten her fährt, wo

dann der Finger von oben zu kommen scheint, weil er auch zuerst die von oben gekommenen Strahlen berührt. Dennoch sehen wir die Gegenstände aufrecht und in ihrer natürlichen Stellung, weil wir die Wirkung nach jener Richtung beziehen, von welcher wir den Eindruck empfangen; für die Punkte eines Gegenstandes eben nach der Richtung ihrer durch den optischen Mittelpunkt ungebrochen gehenden Hauptstrahlen. Daß wir aber, auch wenn der Richtungsstrahl verdeckt wird, doch noch mit anderen Strahlen in der gleichen Richtung sehen, sowie daß wir beim Drehen des Augapfels die Gegenstände so lang der optische Mittelpunkt ruht, auf derselben Stelle sehen, kommt nicht etwa, wie man gemeint, davon daß die Nervenendungen gegen diesen Mittelpunkt gerichtet sind, denn dieses würde doch eine Versetzung der Bilder zulassen, sondern davon, daß die relativen Lagen der Punkte des Gegenstandes und des Bildes sich untereinander, so lange sie in jenem nicht verrückt werden, nicht ändern; auch ist es nicht der Nerv zunächst, welcher etwa das Gefühl der Netzhaut, oder wie ich's sonst nennen mag, empfindet, sondern er leitet das Gefühl zum Sensorium fort, wo dieses dann erst noch oftmals durchs Urtheil berichtigt werden muß, wie wir auch aus den sogleich folgenden Verhältnissen erlernen können.

Die Beurtheilung der Größe und Entfernung eines Gegenstandes hängt nicht mehr bloß von der Richtung und Art des Sehens ab, sondern auch von anderweitigen Erfahrungen. Man unterscheidet wahre und scheinbare Größe, erstere auf den Raum bezüglich, den ein Gegenstand wirklich einnimmt; letztere aber jenen

Raum darstellend, unter welchem er dem Aug an einem bestimmten Ort vorkömmt, oder auch die Größe des Bildes auf der Netzhaut, welche immer von der wahren Größe des Gegenstandes und von seiner Entfernung zugleich abhängt. Die scheinbare Größe wird durch den Gesichtswinkel oder die Parallaxe gemessen, d. h. durch jenen Winkel welchen die vom Rand des Gegenstandes kommenden Strahlen im optischen Mittelpunkt des Auges bilden; dieser ist aber offenbar um so kleiner, je kleiner der Gegenstand selbst und je größer dessen Entfernung ist. Ein schiefliegender Gegenstand wird nur in der Größe seiner Projection, die er auf der verticalen Tafel bildet, erscheinen. Der Gesichtswinkel bestimmt auch die scheinbare Entfernung zweier Punkte von einander, die von der wahren oft sehr weit abweicht, denn z. B. eine aus parallelen Baumreihen bestehende Allee erscheint, je weiter sie sich erstreckt, um so enger, weil die Baumpaare unter immer kleinerm Gesichtswinkel sich darstellen, je weiter sie entfernt sind. Der Gesichtswinkel kann daher unser Urtheil auch täuschen, wenn wir nicht zugleich auf sein Verhältniß zur Entfernung des Gegenstandes Rücksicht nehmen, was aber durch lange Uebung unser Urtheil so beherrscht, daß wir einen Menschen auch in etwas größerer Entfernung so groß zu erblicken glauben, als er wirklich ist, wenn auch das Bild auf der Netzhaut von einem Erwachsenen etwa nur die Größe eines Kindes nachweist. Die Seele entwickelt dabei, trotz der durchgängigen Kleinheit des Bildes, eigenthümliche, dem bloßen Empiriker unverständliche Kräfte. — Die nähern Gegenstände beurtheilen wir auch der häufigern Uebung

wegen besser als entferntere, schätzen daher gewöhnlich letztere nach ersteren, und wenn uns diese mangeln, z. B. auf einem Thurm, erscheinen uns die entfernten Gegenstände sehr klein, dagegen größer, wenn ein Körper zwischen ihnen und uns steht, wie der hinter Bergen aufgehende Mond. Die absolute Entfernung läßt sich ebenfalls nicht aus unmittelbarer Empfindung angeben, sondern nur aus folgenden Umständen: je näher ein betrachteter Punkt dem Auge ist, einen desto größern Winkel müssen die Augenaxen bilden um ihn wahrzunehmen, dazu ist auch größere Anstrengung erforderlich, aus welcher selbst man auf die größere Nähe aufmerksam wird. Wer nur mit einem Auge auf einen Gegenstand hinsieht, hat dieses Mittel der Beurtheilung nicht, und täuscht sich daher um so leichter; deßgleichen fehlt es für sehr entfernte Gegenstände, wofür die Augenaxen parallel werden, daher die Sterne ans Himmelsgewölb geheftet scheinen. Je deutlicher und beleuchteter wir einen Punkt sehen, desto näher scheint er uns zu seyn, z. B. weiße Gebäude. Wenn die wahre Größe bekannt ist, so läßt sich die Entfernung aus der scheinbaren Größe leicht berechnen, da sie mit dieser in verkehrtem Verhältniß steht. Die durch Sammellinsen vergrößerten Gegenstände erscheinen gewöhnlichen Augen wegen dieser Größe genähert, obgleich sie eigentlich das Bild, wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite steht, bis auf die negative Vereinigungsweite hinaus versetzen; durch Zerstreuungsgläser dagegen scheinen sich die Gegenstände zu entfernen. — Die Bewegung der Körper nehmen wir durch die Bewegung des Bildes auf der Netzhaut wahr; doch läßt sich nicht daraus

sogleich sagen, ob der Gegenstand oder der Beobachter oder beide zugleich sich bewegen, daher z. B. den Schiffern die Ufer zurückzuweichen scheinen. In der Richtung senkrecht ans Auge nehmen wir die Bewegung nur durch die Veränderung der scheinbaren Größe wahr. Nach Schmidt ist eine Seitenbewegung nur bemerkbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg in der deutlichen Sehweite nicht unter $2\frac{1}{4}$ Raumsecunden beträgt, daher man z. B. einen Minutenuhrzeiger nicht gehen sieht.

Aus der Entfernung können wir aber noch nicht sicher auf die körperliche Gestalt der Dinge schließen; Sonne und Mond z. B. scheinen unsern Augen nur Scheiben zu seyn. Indeß die Verhältnisse der Entfernung der Theile und ihre mittelst längerer Uebung erlernte Vergleichung mit dem Tastsinn, sowie die Vertheilung von Licht und Schatten belehrt uns wenigstens über die Gestalt der näheren Körper. Ein Blindgeborner, der plötzlich sehend geworden, konnte eben darum erst nach längerer Erfahrung ein Urtheil über die Körperlichkeit fällen. Vertieft geschnittene Steine erscheinen durch Loupen manchmal ohne Umkehrung von Licht und Schatten erhaben, vielleicht weil eine Ermüdung im Auge den Gegensatz der Wahrnehmung hervorruft. Ist man im Sehen geübter, so läßt sich die Darstellung des Körperlichen im Auge leicht nachweisen. Ein räumliches Object entwirft in beiden Augen ungleiche, sich entsprechende Bilderperspective, diese aber geben zusammen das ganze Relief des Körpers, wie es sich darstellt. Wären zwei solche Perspectivdarstellungen bloß auf Flächen hingezeichnet, aber mittelst zweier unter einem rechten Winkel nach außen zusammenstoßender Spiegel an einem und dem-

selben Orte gesehen, so erhielte man auch den Eindruck eines körperlichen Bildes, und dieses ist Wheatstone's Stereoskop. Die Zeichnungen regulärer Figuren brauchen dabei nur entgegengesetzte Lage zu haben, so lange sie sich nahe am Kreuzungspunkt der Seharen befinden. Sind jedoch die Figuren fürs Aug etwas ungewohnt oder in zu ungleicher Entfernung, so wird der körperliche Eindruck nicht ohne Anstrengung, und oft gar nicht erlangt, so daß jedenfalls zu seiner Verwirklichung eine Thätigkeit der Seele im Spiele ist, die aber nicht immer gleicherweise auftritt, darum auch das „Ich" gewisser physikalischer Philosophen*) sich nicht so ganz nothwendig und wesentlich in seinem Scheine reprodu-

*) Diese mit ihrer etwas oberflächlichen und starren Methode werden sicher für immer auf Beantwortung von Fragen verzichten müssen, die über die mikroskopische Analyse hinausgehen. Warum gibt mir z. B. starres, auf einen Gegenstand gerichtetes, bewußtloses Schauen noch keine deutliche Wahrnehmung desselben; warum ist das Gesichtsfeld größer, auch ohne Ortswechsel, als es zufolge optischem Gesetz seyn sollte; warum erscheinen beim abwärts hängenden Kopf alle Dinge in lebhaftern Farben, ohne daß der Achromatismus des Auges gemindert würde; woher der sogenannte gute und böse Blick, das Hellsehen, das Phosphoresciren der Augen und der galvanische Lichtreiz? das sind ebensowohl physiologische als auch psychologische Fragen. J. Müller sagt freilich: das empfindende Organ kann nur sich selbst empfinden. Haben aber etwa Operirte beim Sehen zuerst nach den Augen gegriffen? Oder kömmt die Wahrnehmung der Größe, die doch auch keine absolute ist, etwa lediglich vom Netzhautbilde. Weder das Ich noch das Nichtich werden durch den Sinn wahrgenommen, sondern ein Vermittelndes, nicht das Wesen der Dinge, sondern nur ihr Daseyn und ihre andern Eigenschaften.

cirt. Daguerreotypische Bilder eignen sich am besten vors Stereoskop. Wheatstone erhielt auch in umgekehrter Weise von Drathmodellen einen flächlichen Eindruck. Wenn die Zeichnungen unrichtig sind, sieht man nur abwechselnd die eine oder die andere, so daß es mit dem Körperlichsehen nicht, wie es Brücke meint, bloß auf Aenderung in der Convergenz der Seharen hinausläuft. Bringt man jedoch vors Stereoskop je zwei in einander liegende nicht concentrische Kreise, die sich aber auch nicht schneiden und die perspectivischen Bilder eines abgestumpften Kegels durch ihr Verhältniß darstellen, so müssen die Augenaxen für die großen Kreise einen kleineren Winkel machen, weniger convergiren als für die engern, und jene erscheinen darum, wie die Basis des Kegels, entfernter; zwei concentrische Kreise dagegen geben kein Relief, da solches eben vom Schätzen der Entfernung abhängt, und dieses, wie das Verhältniß von Licht und Dunkel, eine relative Sache ist, die gleichfalls gegen obige Ichheitsphilosophie spricht. Stereometrisches und subjectiv perspectivisches, geometrisches und malerisches Sehen gehören übrigens stets zusammen um eine deutliche Erkenntniß irgend eines sinnlichen Gegenstandes durch die Augen zu verschaffen.

## Fehlerhaftes Sehen.

Das Accommodationsvermögen des Auges, von dem im vorigen Capitel die Rede war, ist doch an gewisse Schranken gebunden, und das deutlichste Sehen findet nur in einer Entfernung von 8—10 Zoll statt, welche man die mittlere Sehweite heißt. Innerhalb und außerhalb dieser kann ein normales Auge nicht ebenso gut

lesen, wie in ihr selber. Doch läßt sich ein über diese Weite entfernter Gegenstand immerhin besser sehen als ein noch näher liegender, weil für größere Distanzen die Vereinigungsweite im Auge sich nicht so schnell ändert als für kleine. Der Winkel dieser passendsten Entfernung für die auf den Rand der Pupille fallenden Strahlen eines Punktes beträgt ungefähr 33′, diese weichen also nicht gar viel vom Parallelismus ab. Es ist aber die Weite des deutlichsten Sehens nicht bei allen Menschen gleich, und bleibt sie unter der oben angegebenen, so ist das Auge kurzsichtig — myops, geht sie darüber hinaus, weitsichtig — presbyt. Die Weitsichtigkeit stellt sich besonders bei vorgerücktem Alter ein, wo die Feuchtigkeiten des Auges sich vermindern, daher an Brechungskraft verlieren, auch die Hornhaut und Linse eine flächere Form annehmen, so daß die Strahlen näherer Gegenstände sich zu weit hinter der Netzhaut vereinigen, und auf ihr selbst ineinanderfallende Kreise bilden, daher Verwirrung der Bilder entsteht. Die Weitsichtigen sehen nun in die Ferne besser, wollen daher immer aus größerer Entfernung lesen; natürlich werden dann aber auch die Buchstaben etwas kleiner und nie so klar als für ein gutes Auge. Eine Sammellinse hilft diesem Uebelstand ab, der sonst durch die Anstrengung nur wachsen würde, indem sie die Strahlen zu rascherer Convergenz zwingt, das Buch also näher rücken läßt. Bei Kurzsichtigen ist die Convexität der Hornhaut oder der Linse so groß, daß die Strahlen aus gewöhnlicher Sehweite schon vor der Netzhaut zur Vereinigung kommen, und von da aus divergiren, daher die Bilder entfernterer Gegenstände sich nur verwirrt und undeutlich

wahrnehmen lassen. An der Kurzsichtigkeit könnte auch eine Unvollkommenheit des Accommodationsvermögens, eine zu große Brechbarkeit der Feuchtigkeiten des Auges, ja auch ein beträchtliches Zurückweichen der Retina, wenn nicht ein Vordrängen der Linse schuld seyn. Ein Hohlglas rückt nun aber den Vereinigungspunkt weiter gegen die Netzhaut, und erlaubt darum dem Kurzsichtigen entfernte Gegenstände so zu sehen, als ob sie näher stünden. Gläser, welche der Kurz- oder Weitsichtigkeit abhelfen sollen und nach deren Grad auch verschieden sind, heißen bekanntlich Brillen, und als ihr Erfinder wird zumeist Alexander Spina da Carpi genannt, der als Mönch 1313 in Pisa gestorben ist.*)

Nennt man A die Sehweite eines regelmäßigen Auges, a jene eines weitsichtigen, p die Brennweite der benöthigten Linse, so hat man, da diese den innerhalb a gestellten Gegenstand für den Weitsichtigen bis dahin hinausrücken soll, und darum die hintere Vereinigungsweite diesem Abstand gleich und negativ werden muß, nach früherer Formel $-\frac{1}{a} = \frac{1}{p} - \frac{1}{A}$; wo begreiflich $A < p$, so lange der Gegenstand innert der Brenn-

*) Die Alten kannten wohl Brenngläser, aber schwerlich ihren Sehgebrauch; auch Alhazen und Roger Baco hatten von diesem keine rechte Vorstellung. In der Kirche Sta. Maria maggiore in Florenz steht folgende Grabschrift eines 1317 gestorbnen Edelmanns (s. Volkmanns Nachrichten von Italien Bd. I. S. 542):

Qui giace Salvino degli Armati,
Inventore degli occhiali,
Dio gli perdoni gli peccati.

weite bleibt. Daraus ergibt sich $p = \frac{Aa}{a-A}$; die Brennweite also um so kürzer, je stärker die Weitsichtigkeit ist, was auch für die Kurzsichtigkeit gilt, nur daß man hier negative Brennweite, also auch negative Radien hat. Sieht z. B. ein Kurzsichtiger auf 5 Zoll deutlich, so braucht er ein Concavglas von 10 Zoll Brennweite. Die Wahl der Brillen geschieht nun am leichtesten nach dieser Formel, oder indem man den Weitsichtigen zuerst schwächere, dann schäfere Brillen probiren läßt, bis er mit der passenden in einer Entfernung von 10 Zoll deutlich und ohne merkliche Vergrößerung bei günstigem Licht lesen kann. Für den Kurzsichtigen hänge man in der Entfernung von 15—20 Fuß ein Täfelchen auf, worauf Punkte von verschiedener Größe verzeichnet sind. Sieht er von diesen Punkten mit einer bestimmten Brille eben so viele als ein mittelsichtiges Auge, und ohne daß die in gleicher Entfernung befindlichen Gegenstände verkleinert erscheinen, so ist diese Brille jene, welche seine Kurzsichtigkeit hebt, und es ist nicht räthlich eine stärkere oder schwächere zu nehmen, ausgenommen letztere jedesmal für nahe Arbeit, wenn man sie gar nicht entbehren kann, und etwa sonst Brustbeschwerden ausgesetzt wäre. Die Weitsichtigkeit steigt schneller als die Kurzsichtigkeit, welche selten vorm 10 Jahr beginnt, in den höheren Ständen häufiger ist, und manchmal bei vielem Sehen in die Ferne, namentlich in der Jugend wieder abnimmt; der Weitsichtige, sobald er eine Abnahme der Sehkraft merkt, wenn er nämlich die Schrift zum deutlichen Sehen über 10 Zoll entfernen muß, oder dazu eines verstärkten Lichtes bedarf, etwa gar dieses zwischen sich und

das Buch stellen muß, oder wenn sich Verwirrung der Buchstaben und Nebel vor den Augen beim Lesen zeigt, muß daher alsbald nach Brillen sich umsehen, aber nur mit schwachen anfangen, damit er nicht zu schnell auf einen Grad gelange, der mit der Erblindung zusammenfällt. Die Weitsichtigkeit tritt wohl gewöhnlich erst in spätern Jahren ein, aber geht nicht gleichmäßig mit deren Zahl voran, nach welcher man die Brille am allerwenigsten bemessen darf. Für die Nacht, also bei künstlichem Licht, wenn dieses nicht sehr hell ist, bedarf man etwas schärfere Brillen. In einzelnen Fällen ist im hohen Alter die Weitsichtigkeit nochmals zurückgegangen, so daß das Auge selbst Hohlgläser nöthig hatte. — Ist die Sehkraft beider Augen um mehrere Grade verschieden, d. h. wenn das eine Auge ein Glas von bestimmter Brennweite bedarf, das andere eines, dessen Brennweite um mehr als 4 Zoll von der des erstern verschieden ist, so genügt es nicht mehr, bei höheren Graden für beide Augen ein und dieselbe Brennweite zu gebrauchen, sondern man muß gewöhnlich für das schwächere Auge ein Glas nehmen, das um ein paar Nummern schwächer ist, als es für sich allein bedürfte, und für das bessere Auge, wenn dieses anders nicht ganz gut ist, ein um weniges schärferes Glas als es an und für sich brauchen könnte, um beide Augen zu nähern, und damit nicht das eine etwa beim unrechten Glas unthätig bleibe. Daß ein Auge weit-, das andere kurzsichtig sey, kömmt seltner vor, und man kann da nur nicht zu starke Gläser empfehlen. Sind die Augen so, daß sie weder in der Ferne noch in der Nähe gut sehen, so ist dieß Uebersichtigkeit (auch eine zu starke Kurz-

sichtigkeit heißt so); dann ist die Linse stark gewölbt, zugleich aber die Pupille sehr klein, und es ist in diesem Falle nichts anderes zu thun als durch schwache Convergläser das Licht zu vermehren. Dieser Zustand ist selten; für sonstige Anomalien aber lassen sich keine allgemeinen Regeln geben, sondern man muß eben die nöthige Klugheit und Vorsicht gebrauchen um jedem einzelnen Fall angemessen zu begegnen. Die Optometer, die theils auf den Scheiner'schen Versuch, theils einfach auf Verschiebung einer Marke in einer Röhre mit zugehörigem Converglas beruhen, haben sich bisher noch nicht praktisch genug erwiesen, da ihr Gebrauch nicht allen Hülfsbedürftigen gut instruirt werden kann; gehörige Uebung in den oben angegebenen einfachen Verfahrungsweisen führt den Instructor am besten zum Ziel. Manche Aerzte halten sich ein Augengläserbesteck mit beweglichem Gestell; bei den längern Brennweiten von fünf zu fünf Zoll, bei den mittlern von 1″ zu 1″ und bei den starken von $\frac{1}{2}$″ zu $\frac{1}{2}$″ fortschreitend, wonach sie die Recepte für die Optiker fertigen. Staarbrillen gehen von 4 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll, und wenigstens mit diesen sollte jeder Arzt versehen seyn, sie aber nie zu schnell nach der Operation, und nicht in der Bildung des Staares gebrauchen. — Brillen können das kranke Auge nicht heilen, höchstens in der torpiden Amaurose, wo sie die gelähmte Sehkraft zum Sehen reizen, wenn diese Lähmung nur durch vernachlässigte Uebung des Sehorgans entstund. In der Jugend ist Kurzsichtigkeit auf heroische Weise wohl durch Convergläser geheilt worden, aber das Verfahren bleibt stets gefährlich. Richter glaubte durch Stramonium zu helfen, oder

durch einen Schnitt in die Hornhaut um die Feuchtigkeit zu mindern; es dürfte dieß aber höchstens zu wagen seyn, wenn die Convexität so groß ist daß selbst scharfe Brillen nicht mehr helfen. Manchmal ist die Linse in der Mitte dichter; dann hilft kein Glas, sondern nur eine Blendung, oder es muß das Glas vom Rand her ziemlich weit hinein matt geschliffen seyn. Die Kurzsichtigen ziehen oft die Augenlieder etwas zusammen, damit die Pupille ohne zu viel Lichtreiz sich für ferne Gegenstände erweitern könne; denselben Dienst leistet eine sogenannte Röhrenbrille auch ohne Gläser. Bertholds Myopodiorthotikon ist eine Leiste, durch die man den Kopf beim Lesen allmählich auf eine größere Entfernung bringt; ob da mit dem Zurückgehen der Kurzsichtigkeit das Auge selbst geändert werde, oder nur die Angewöhnung an die Nähe sich verliere, ist noch eine Frage. Zur Erzeugung der Kurzsichtigkeit trägt vorzüglich der Hang zu naher und kleiner Schrift bei, sowie der Mangel an dem nöthigen Licht, wobei die Pupille sich erweitert, das Sehen undeutlicher wird, und die Anstrengung des Auges zuletzt dessen bleibende Veränderung herbeiführt, obwohl übrigens das kurzsichtige Auge auch bei sehr schlechtem Licht in der Nähe zu sehen vermag, und die größte Anstrengung weit besser als das weitsichtige, ja ohne allen wesentlichen Nachtheil erträgt. Die Thorheit, unnöthigerweise Brillen zu tragen, hat den Augen auch gar viel geschadet; und es hat mancher nur ein blödes Aug gehabt, das, so lange der Körper noch nicht ausgewachsen war, sich noch bessern konnte, durch Brillen aber auf die Dauer kurzsichtig ward. Manchmal kömmt die Kurzsichtigkeit von

zu großer Convergenz der Axen, die man sich angewöhnt hat; man sieht in einiger Ferne das meiste doppelt, und schlägt dann aus Verlegenheit gern die Augen nieder, was oft mißdeutet wird. Es läßt sich dieser Uebelstand mitunter durch Betrachten eines horizontal vors Auge gehaltenen Cirkels verbessern, auf dessen wegwärts gekehrte Spitzen man bei allmählich erweiterter Oeffnung hinsieht, so zwar daß man zwischen den zwei Schenkeln eigenthümlicherweise noch einen dritten längern aus dem Doppelbild zusammengesetzten zu sehen bekömmt. Für solche Augen paßt ein Gestell gut, wo die Gläser sich von einander rücken lassen. Einzelne Augengläser taugen nichts, weil gern ein Auge gegen das andere durch ihren häufigen einseitigen Gebrauch zurückbleibt. Hat die Brille wie bei Lorgnetten eine solche Fassung daß sich beiderlei Flächen gegen das Auge kehren lassen, so sollen diese von gleichen Radien seyn, sonst aber soll bei Convergläsern die Seite mit dem längern, bei Concavgläsern jene mit dem kürzern Radius gegen das Auge gekehrt seyn. Das Gestell soll mit der Richtung der Augenaxen harmoniren, also bei Kurzsichtigen etwas, aber nur wenig einwärts, bei Weitsichtigen auswärts gebogen seyn, damit die Axen leichter auf den nahen Gegenstand zusammenkommen. Weitsichtige sollen keine Gestelle mit ⋈, sondern mit ⌒ Nasen tragen, damit die Brille hinlänglich tief sitze; die sogenannten Nasenzwicker sind den Augennerven schädlich. Convergläser soll man beim Nichtgebrauch auf die Spangen gelegt lassen, damit sie nicht verkritzt werden. — Man hat auch Brillen welche auf der Vornseite conver, auf der hintern concav sind, und periskopische heißen. Sie ge-

ben ein größeres, gleichmäßiger gegen die Axe gestelltes Feld als die biconvexen oder biconcaven, strengen daher das Auge beim Uebergang von der Mitte zum Rand weniger an; sie haben aber bei kürzeren Brennweiten mehr Kugelabweichung wegen stärkerer Krümmung, und die äußere Fläche, wenn sie nicht von großem Radius ist, wirkt auf ihrer Rückseite für viele von innen zurückgeworfene Strahlen wie ein Hohlspiegel. Cylindrische Gläser mit senkrecht gekreuzten Axen der beiden Flächen wirken gegen die Kugelabweichung, und verdienen darum wohl allein den Namen Conservationsgläser, sind aber schwer zu machen. Das Glas der Brille soll völlig rein, ohne Streifen und Blasen, sowie von richtiger Kugelform seyn, folglich die geraden Linien nicht entstellen; ein Hohlglas z. B. soll nicht am Rand viel mehr als in der Mitte verkleinern; doch muß man deßhalb beim Gebrauch auch vorzüglich durch die Mitte sehen. Der Bergkrystall wäre wegen seiner Härte gegen äußere Eindrücke gut zu brauchen, wenn man nur sicher seyn könnte die Brille so zu schleifen, daß seine Doppelbrechung gänzlich vermieden wird. Für sehr schwache reizbare Augen kann man im Nothfall Brillen brauchen, deren Farbe zwischen Blau und Grün sich befindet, welche die Gegenstände nur sehr wenig färben, weil sie sonst das Auge noch reizbarer machen, und keine Krümmung haben dürfen, weil diese an den dickern Stellen das Glas dunkler läßt als an den dicken; doch kann man ein weißes sphärisches Glas mit einem solchen farbigen verbinden. Viel Wechseln mit Brillen thut nicht gut; die Gläser dürfen vom Aug nicht abstehen, und die Größe derselben ist so zu wählen daß möglichst wenig falsches

Licht aufs Auge fällt. Lesegläser, die sehr conver sind, muß man im Allgemeinen vermeiden.; außer wegen Kreuzung der Axen.

Es gibt auch noch andere Fehler des Sehens, z. B. das Doppelsehen. Dieses entsteht wenn der normale Winkel der Augenaxen sich ändert, entweder durch Krankheit oder durch übermäßige Anstrengung, auch bei Hypochondrie und öfters in der Trunkenheit &c. &c. Beim Schielen sieht man doppelt, weil die optische Axe des Auges nicht mehr mit der mathematischen zusammenfällt. Doppeltsehen kann auch auf einem einzigen Aug entstehen, durch Ungleichheit der Hornhaut, oder durch Aenderung in den Feuchtigkeiten, und zwar wie man durch Schwefelsäure und Wasser, die sich zu mengen beginnen, wegen ihrer ungleichen Brechbarkeit die Dinge doppelt sieht. Die Halbsichtigkeit kömmt von einer theilweisen Verdunklung der Hornhaut oder von Verschiebung der Pupille, kann auch eine Halbamaurose seyn. Die Hemeralopie rührt wohl von Verdunklung her, die nach Staaroperationen gegenüber der Pupille entsteht, so daß man nur an sehr hellen Orten etwas sehen kann, während der periodische Staar und die Nyktalopie nur bei Nacht zu sehen gestatten, indem das Auge zu reizbar ist, wie bei den Albinos und den Bewohnern der Landenge Darien. Die eine Art des Schielens, die luscitas, kann von einem innern Fehler, z. B. schiefliegender Linse oder Unempfindlichkeit eines Theiles der Netzhaut kommen; die andere, der strabismus, von Verrückung der Augenaxen oder Schwächung des einen Auges. Die letztere kann durch Masken gebessert werden, deren Augenlöcher eine

der normalen Richtung angemessene Lage erhalten, sowie wenn das eine Auge geschwächt ist, durch fleißigere Uebung desselben. Es gibt nun noch eine Classe des fehlerhaften Sehens, die wir im nächsten Abschnitt betrachten.

## Von den Gesichtstäuschungen.

Man kann äußere, innere und seelische Gesichtstäuschungen unterscheiden. Die hauptsächlichsten der ersteren haben wir schon im Capitel der Dioptrik kennen gelernt, wollen daher sogleich zur dritten Gattung übergehen, um mit der zweiten, welche die häufigsten Fälle enthält, zu schließen. Das Bild auf der Netzhaut, wie wir schon gesehen haben, kann nicht für alle Verhältnisse der Außenwelt zum Aufschluß dienen, sondern die Seele muß vielfach die Erfahrung anderer Sinne zu Hülfe rufen. Fehlen aber diese, oder sind sie mangelhaft, so ist auch unser Urtheil unsicher, und kann leicht getäuscht werden. Zur Beurtheilung der Größen und Entfernungen fehlt uns oft ein Anhalts- oder Vergleichungspunkt; darum halten wir sehr entfernte Theile stets für näher als sie sind, und steile Gebirgswände scheinen aus eben dieser Ursache überzuhängen. Kindern, deren Erfahrung noch nicht weit fortgeschritten ist, scheinen die entfernten Sachen kleiner als Erwachsenen, die vielleicht selbst schon einen Thurm bestiegen haben, wo sie eines näheren Vergleichungsobjectes beim Schauen in die Ferne entbehren mußten. Je mehr Gegenstände zwischen dem Aug und dem zu betrachtenden Körper liegen, desto richtiger schätzen wir seine Entfernung. Ein Berg, den wir hinter einem andern

hervorragen sehen, scheint vielleicht sehr nahe, ja sich an diesen anzuschließen; wenn wir aber die dazwischenliegenden Thäler sehen, so finden wir oft noch einen großen Abstand. Ein Feuer bei der Nacht scheint, weil wir näherliegende Dinge nicht sehen, weniger ferne als bei Tag, wohl auch darum weil es stärkern Eindruck aufs Auge macht; ein See, wenn nichts darauf ist, scheint kleiner zu seyn, als wenn er von Inseln und Schiffen bedeckt ist, und das Himmelsgewölbe scheint eingedrückt, weil wir ins Zenith hinauf die Entfernung weniger schätzen können als im Horizont, wo Gegenstände zur Vergleichung sich darbieten. Je kleiner der Gesichtswinkel, desto enger der Gegenstand, daher die Wände eines langen Saals gegen dessen Ende hin sich zusammenzuneigen scheinen, und ein entfernter Wald wie eine dichte Masse erscheint, weil die Abstände der einzelnen Bäume unter zu kleinem Sehwinkel gesehen, und darum nicht mehr unterschieden werden können. Große Ebnen erscheinen wie ein See, namentlich bei der Luftspiegelung. Jupiter, weil größer und heller als Mars, scheint uns näher zu seyn als dieser, wie überhaupt der Eindruck des Netzhautbildes mit der größern Helle des Gegenstandes sich erweitert, da die Bilder, wie ich schon früher sagte, nicht geometrisch scharf auf die Papillen treffen. Daher auch die Fixsterne dem freien Auge, gemäß der uneingeschränkter auf die Netzhaut fallenden Strahlen, größer als durchs Fernrohr erscheinen, wo ihr Bild schärfer begränzt, obwohl nicht ganz frei von dieser sogenannten Irradiation ist, deren Effect man nur bei doppelten Bildern mit gespaltnem Objectiv in den dem Astronomen als treffliches Meßinstrument bekannten

Heliometern vermeidet. Die helle Mondsichel erscheint deßgleichen größer als der halbdunkle Theil des Mondes. — Eine Kanonenkugel im Flug sieht man nicht von der Seite, nur von hinten, weil da der Eindruck aufs Auge länger dauert. Die Punkte von Radspeichen scheinen im Lauf eine Art von Curven zu beschreiben, die sogenannte Quadratrix des Dinostrates; laufen aber zwei Räder nach entgegengesetzter Richtung, so erscheinen die Speichen, wenn anders die Centra sich decken, gerade, außerdem auch krumm; Gitter und Stacketenzäune sieht man im schnellen Vorbeifahren wie wellenförmige Gebilde. Es kömmt dieß daher, weil die optischen Eindrücke zu ihrer Bildung und zum Verschwinden einige, wenn auch sehr kurze Zeit brauchen. Darauf beruht denn auch das Thaumatrop, welches etwa aus einem in seiner Mitte zu drehenden Kartenblatt besteht, auf dessen einem Ende ein Gegenstand, z. B. ein Vogel, und auf dem andern ein zugehöriger, ein Käfig gemalt ist, so daß man beim schnellen Drehen beide zusammen, den Vogel in dem Käfig zu sehen glaubt. Aehnliches findet auf den stroboskopischen Scheiben statt, d. h. auf kreisförmigen Pappscheiben, welche Figuren in verschiedenen aufeinander folgenden Stellungen gezeichnet enthalten, die dann durch in der Scheibe am Rand angebrachte Oeffnungen in einem gegenüberliegenden Spiegel bei der schnellen Drehung der Scheibe in Bewegung, z. B. tanzend, reitend ꝛc. gesehen werden. — Man fühlt öfters eine Bewegung des Bildes auf der Netzhaut, ist aber unsicher, ob sie durch die Bewegung des eigenen Körpers oder des Gegenstandes verursacht wurde. So scheinen sich Bäume im Vorbeifahren rückwärts zu

bewegen, und wenn man vom ruhenden Schiff ins fließende Wasser schaut, ist einem als bewege sich jenes, auch scheint beim Laufen der Mond oder anderes fern zur Seite Liegendes mit dem Laufenden zu laufen. Wenn man eine zum Theil mit Wasser gefüllte Flasche vor einen Hohlspiegel hält, so scheint der gefüllte Theil leer, und der andere gefüllt, weil die beiden Theile nicht gleich viel Licht werfen, und wir troß des verkehrten Bildes immer die Flüssigkeit nach unten denken, so zwar daß beim Auslaufen derselben die Flasche sich sogar zu füllen scheint, was in Dioramas einen komischen Effect macht. Ein sehr entferntes Bild in einem Sammelglas erscheint, weil wir den Anblick nicht gewohnt sind, bisweilen vor demselben. Bäume die nicht gar weit vom Fenster entfernt sind, scheinen auf diesem zu kleben, wenn man sie durch ein Fernrohr schaut. Cadamasto schienen auf seiner Entdeckungsfahrt am grünen Vorgebirg die Affenbrodbäume im Meere zu stehen. — Das Auge besitzt auch nicht hinlängliche Ruhe, sondern wird, besonders bei lange auf einen Punkt geheftetem Sehen, leicht unbeständig, so daß dieser selbst zu verschwinden anfängt. Daher kömmt es auch, daß ein weißer dünner Strich zwischen zwei schwarzen auf weißem Grund schwer zu kennen ist, daß man vom engen Zwischenraum zweier Lineale mehrfache Bilder, einen schiefliegenden außer der Sehweite befindlichen Faden doppelt und gekreuzt, sowie auch ein Licht durch ein Löchlein mehrfach sieht. — Bevor wir nun die Gesichtstäuschungen der zweiten Art noch durchgehen, ist etwas weniges über die Erscheinungen der Farben im Allgemeinen zu bemerken. Farbe ist eine Modification des

Lichtes, welche wahrscheinlich von dem Verhältniß der Größe der Wellen zur Zahl der Schwingungen, in denen das Licht sich bewegt, abhängt, daher wir dieselbe auch an zerstreutem Licht wahrnehmen, je nach Beschaffenheit der Körper, von denen es kömmt; — wird aber schon farbiges Licht von einem solchen Körper zurückgeworfen und zerstreut, so kann er es nicht weiter mehr beträchtlich modificiren. Scharlachrothes Tuch ist im rothen Theil des prismatischen Spectrums lebhaft roth, im Gelben gelb, im Grünen dunkelgrün, im Violett schwarz. Eine Weingeistlampe, deren Docht mit Salz eingerieben ist, macht Alles gelb aussehend, und das Kerzenlicht läßt blaue Farben grün erscheinen. Im Norden scheint die hellere Färbung der Gegenstände die Abnahme des Lichtes zu ersetzen. — Schnell wechselnde Eindrücke von verschiedenen Farben mengen sich im Auge durcheinander, z. B. im Farbenkreisel wird Blau und Gelb zu Grau, oder man erhält eine neutrale Färbung, wenn die

blauen Sectoren 4mal breiter als die gelben,
blauen " 4 " rothen,
rothen " $^5/_3$ " gelben.

Gelb und Blau bringen bei nicht zu schnellem Drehen auch Weiß und zuweilen Orange hervor, Gelb und Roth dagegen Grün, je nach der Größe und Sättigung der Farbensectoren. Wenn man weiße und schwarze Sectoren in Rotation versetzt, so erhält man nach Fechner je nach deren Geschwindigkeit ein in grün, gelb, blau übergehendes Grau, das zuletzt zellig, wie die Netzhaut, und mit goldglänzenden Punkten bestreut, erscheint. Ein gelbes Glas vor dem einen Auge, und ein blaues vor

dem andern, geben je nach deren Intensität auch den Eindruck von Grün. Der Farbeneindruck an einer Stelle der Netzhaut wird nach Volkmann nur dann von dem an der homologen Stelle des andern Auges modificirt, wenn diese Stellen in der Augenaxe liegen. — Unter den durchsichtigen Körpern gibt es solche, welche auf das durchgelassene Licht anders wirken als auf das zurückgeworfene, z. B. das Beinglas läßt nur die tiefrothen Strahlen durch, während es außen bläulich erscheint; die Taucher im Meer sehen die Sonne roth; dünnes Gold läßt grünes Licht durchschimmern.

Es gibt nun auch eine Classe von Farbenerscheinungen, die nicht unter allen Umständen erblickt werden, die daher in der besondern, nicht allzeit hervortretenden Beschaffenheit des Auges ihren Grund haben, darum auch subjective, zufällige oder pathologische Farben genannt werden. — Wenn man eine farbige Figur scharf betrachtet, und dann das Auge auf eine weiße Figur richtet, so sieht man hier wieder die Figur, aber mit complementärer Farbe, z. B. blaßgrün, wenn sie roth war. Die vorher von den rothen Strahlen getroffenen Theile der Netzhaut sind nämlich gegen das volle Licht zu empfindsam geworden, und scheiden daher das Roth vom Spectrum aus, so daß von den übrigen Farben dann das Grüne resultirt. Hierin liegt auch der Grund der blauen Sonnenbilder, die wir bemerken, wenn wir in die untergehende Sonne geschaut haben, und deren Wichtigkeit von Goethe und Zschokke wohl überschätzt wurde. Newton sah mit dem linken Auge stets auf den Wolken ein Sonnenbild, wenn er mit dem rechten in die Sonne geschaut hatte, was ein gefährlicher Versuch

ist. Aepinus fand das secundäre Sonnenbild beim Schließen der Augen blau mit rothem Saum, beim Oeffnen roth mit blauem Rand. Diese Nachbilder oder farbigen Schatten verhalten sich ungefähr wie das Mitklingen einer Saite, die nicht angeschlagen ist, mit einer andern tönenden, und die Farben stehen dann auch in einer gewissen Harmonie zu einander; sie sind wie Träume, die sich an wirkliche Begegnisse anschließen, oder wie der wehmüthige Nachklang, ohne welchen eine große Freude selten zu bleiben pflegt. — Betrachtet man zwei Kerzen, die einen Fuß von einander abstehen, aus 8—10 FußEntfernung mit einem Auge, so erscheint das directe Bild blaßblau mit hellem Ring, und vom indirect gesehenen zweiten verschwinden durchs Prisma Roth und Grün. Wird vor zwei Lichtflammen, welche eine weiße Fläche beleuchten, ein undurchsichtiger Gegenstand gestellt, so bewirkt dieser einen Kern- und zwei Halbschatten; hält man nun vor das eine Licht ein farbiges Glas, so erscheint der von diesem Licht erleuchtete Schatten von der Farbe des Glases, der andere von der complementären, weil das Auge durch die eine Farbe gegen die vollkommene Empfindung des Lichtes vom zweiten Halbschatten schon abgestumpft ist. Die gefärbten Schatten kann man auch beobachten, wenn man bei anfangender Dämmerung Kerzenlicht ans Fenster stellt. Das Kerzenlicht verbreitet gelbes Licht, und das afficirte Auge sieht darum die noch vom matten Tageslicht erhellten Halbschatten blau. Wenn Sonnenlicht durch grüne Vorhänge von einer Seite, und von einer andern weißes Tageslicht in ein Zimmer fällt, so sieht man aus ähnlichem Grund die

vom letztern beleuchteten Sachen röthlich. Merkwürdig ist folgender Versuch: man stelle seitwärts an ein Auge ein Kerzenlicht, halte zwischen beide Augen die flache Hand, damit das andere Auge beschattet sey, und blicke, während man 8 — 12 Zoll vom Auge einen schmalen Streifen weißes Papier hält, nach einem entfernten Gegenstand, so sieht man den Streifen doppelt; mit dem beleuchteten Auge, das fürs gelbe Licht schon stumpfer geworden, blaugrün, mit dem andern orangefarbig. Bringt man vor eine dicke Glasplatte einen Streif weißen Papiers, so sieht man ihn durch die Reflexion der Vorderfläche grün, durch die schwächere der Hinterfläche roth. Eine schwingende Stahlnadel mit einem Knopf zeigt auf diesem, wenn zugleich vom Kerzen- und Tageslicht beschienen, einen rothen und blauen Punkt, die allmählich zu ineinander geschlungenen Lichtcurven werden.

Die verschiedenartige polarisch entgegengesetzte Affection der Netzhaut und ihre Resonnanz, wenn auch der directe Eindruck vorüber ist, äußert sich nicht bloß in Farben. Wenn man einen schwarzen Kreis auf einer weißen Fläche anhaltend bis zur Ermüdung des Auges betrachtet, dann das Auge auf die ihn umgebenden weißen Flächentheile wendet, so sieht man diese Stelle lebhafter weiß als die übrige Fläche, so zwar daß der schwarze Kreis wie mit einem hellen Lichtschein umgeben erscheint. Betrachtet man auf ähnliche Weise einen weißen Gegenstand auf grauem Grund, so zeigt sich das Grau nahe am Gegenstand viel dunkler als auf der übrigen Fläche, denn die Netzhaut ist an den nahen Theilen, welche durch das lebhaftere Licht stark gereizt

worden, abgestumpft, so daß diese von einem schwächern Licht viel weniger empfinden als die andern Theile, welche den auf den ersten folgenden Eindruck, da sie geruht haben, nun viel stärker wahrnehmen können, gleichwie bei andern Sinnen, z. B. am Mund die Stellen nächst der Lippe heiße Speisen weniger erleiden wollen als die Lippe und Zunge. Hat man lange auf ein gegen den hellen Himmel gerichtetes Fenster geschaut, und schließt dann die Augen, so bemerkt man ein helles Fensterkreuz und dunkle Scheiben so lange, bis die ungleiche Spannung der Netzhaut ausgeglichen ist, und zwar lebhafter, wenn man das Schließen des Auges öfter wiederholt. — Hält man sehr nahe vors Auge eine Nadel, und schaut durch die Oeffnung eines schwarzen Schirmes auf einen andern hellerleuchteten weißen, so sieht man die Nadel vor jenem schwarzen Schirm, weil man in der zu großen Nähe sie nur undeutlich sehen könnte, und nun das falsche Urtheil noch durch den Schatten, den die Nadel auf die Netzhaut wirft, unterstützt wird. Ein vor dem Auge nahe vorbeigeführter Körper bewirkt durch die Vergrößerung des Halbschattens bei geringem auf die Netzhaut wirkendem Lichte eine Ausdehnung des Randes entfernter Körper. Die Netzhaut wird durch anhaltendes Sehen heller Sachen immer empfindsamer; Herschel fand darum nach längeren Beobachtungen stets, daß selbst Sterne dritter Größe sein Auge auffallend blendeten. — Flecken und Funken vor dem Auge, sowie die sogenannten Aderfiguren, die ohne Mitwirkung des äußern Lichtes entstehen, mögen von einer Mitleidenschaft einzelner Netzhautpunkte bei Krankheiten herrühren, indem dieselben

eine Ausgleichung ihrer gestörten Erregbarkeit suchen; bloße Verdunklung der Hornhaut könnte jedenfalls nur das Licht im ganzen schwächen. Sie sind selten bei nahen und dunklen Gegenständen und offenem unbewegtem Auge; langes Schauen glänzender Gegenstände, sowie plötzlicher Blutandrang zum Kopf ruft sie auch ohne andere Krankheit hervor, besonders bei Weitsichtigen, die fixen feurigen Punkte erscheinen jedoch stets gefährlich. — Man trifft endlich auch krankhafte, wohl noch näher zu untersuchende Zustände im Auge, z. B. Veränderungen der brechenden Flüssigkeiten, welche Täuschungen verursachen; so gibt es Menschen, welche Dunkelblau und Hellroth nicht unterscheiden, andere die kein Roth oder kein Blau wahrnehmen können, und andere die alles grau sehen, deren Augen also nur von bestimmten Schwingungsweisen des Lichtes afficirt werden. Durch Gelbsucht sieht man öfters alles gelb, doch anders als von einer monochromatischen Flamme; durch Entzündungen bisweilen roth, und beim Milchstaar weiß; auch sieht man manchmal bei heftigem Affect die Farben von einem andern Ton als dem gewöhnlichen. Beim weiblichen Geschlecht findet sich diese Farbenverwechslung seltener, es gibt aber Familien, deren sämmtlichen Gliedern sie anklebt. Man findet übrigens bei den Schriftstellern selbst Menschen erwähnt, die alle Gegenstände verkehrt, oder schief oder gewunden sahen, und andere die durchaus alles doppelt sahen; ersteres vielleicht durch innern Reflex, und letzteres durch Verdrehung der Augenaxen bewirkt. Ein Mann sah durch Krankheit alles um die Hälfte kleiner.

Um mehreres Vorausgängige mit noch einem Bei-

spiele zu belegen, füge ich die Wahrnehmungen eines Blindgebornen bei, den Cheselden in einem Alter von 13 Jahren glücklich operirte. Er hatte bei sehr starkem Lichte schon Farben, nie aber Gestalten unterscheiden können; gleichwohl waren nach der Operation seine Ideen von den Farben nicht mehr zureichend sie zu kennen, und er glaubte daß sie diejenigen nicht wären, welche er vorher unter diesem Namen gekannt hatte. Unter allen Farben fand er das größte Wohlgefallen an denjenigen, welche sehr lebhaft waren, und besonders Scharlach gefiel ihm am besten. Die schwarze Farbe war ihm lästig, und es verging eine geraume Zeit ehe er sich daran gewöhnte. Er wußte so wenig von Entfernungen zu urtheilen, daß er sich einbildete, alle Sachen, die er sähe, berührten seine Augen, wie das was er fühlte, seine Haut. Vorzüglich angenehm waren ihm glatte und geordnete Sachen, ob er gleich von ihrer Gestalt nicht urtheilen, noch errathen konnte was ihm an einer Sache gefiel. In einem Tag lernte er eine Menge Gegenstände kennen, deren Namen er aber miteinander verwechselte; so dauerte es z. B. sehr lange, ehe er Hund und Katze von einander unterscheiden lernte. Er verwunderte sich sehr, daß diejenigen Sachen, die seinem Gefühl am angenehmsten geschienen hatten, nicht auch seinem Gesichte am meisten gefielen, Gemälde kamen ihm als buntscheckige Flächen vor; als er aber nach zwei Monaten plötzlich die Entdeckung machte, daß sie Körpererhöhungen und Vertiefungen darstellten, erstaunte er nicht wenig, daß sie sich nicht ebenso anfühlten, wie sie aussahen, und fragte, welches von seinen Sinnen der Betrüger wäre, das Gesicht oder das Gefühl.

Anfänglich kam ihm Alles sehr groß vor, nachdem er aber größere Sachen gesehen, hielt er die vorigen für kleiner, und konnte sich nun keine Dinge außerhalb der Gränzen, die er sah, vorstellen. So wußte er, daß das Zimmer ein Theil vom Hause wäre, konnte aber nicht begreifen, daß das Haus größer als das Zimmer aussehen könne. Vor der Operation hatte er sich wenig Vortheile von derselben versprochen; allein nachher, als er wirklich die Sachen von einander durchs Gesicht unterscheiden konnte, ward jede neue Darstellung ein wahres Entzücken für ihn, so daß er sein Vergnügen nicht auszudrücken vermochte, und das Andenken an seinen Wundarzt, der ihm zum Gesicht verholfen, war jederzeit mit Freudenthränen und den Zeichen der lebhaftesten Dankbarkeit begleitet. Ein Jahr nach seinem ersten Sehen brachte man ihn in die Dünen von Epsom, wo er eine weite Aussicht hatte, welche ihn ungemein ergötzte, und er nannte dieß eine neue Art von Sehen. Man wird nun aus diesen Fällen abermals gemerkt haben, daß die Erscheinung des Bildes auf der Netzhaut für sich allein zur richtigen Wahrnehmung der Außenwelt nicht genügt, wie auch noch Beispiele von andern operirten Blindgebornen bestätigen. Das bisher Dargestellte dürfte nun für die gewöhnlichen Bedürfnisse eines Augenarztes genügen; wer aber selbst die Wissenschaft zu fördern wünscht, dem sind die nachstehenden Werke zu empfehlen:

**Purkinje**, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.

**Volkmann**, neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes, Leipzig 1836.

**Treviranus**, Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge, Bremen 1828.

**Herschel** on light in der vermehrten französischen Ausgabe von Quetelet.

**Radike**, Handbuch der Optik, Berlin 1839,

sowie die Repertorien, Hand= und Wörterbücher der Physik und Anatomie.

Gefällige Recensionen, bittet schließlich der Verfasser, möge man ihm um der Sache willen zuschicken, um sie bei einer vielleicht nöthigen zweiten Auflage zur Verbesserung des Werkchens benützen zu können.

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS.

D. Knodé.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Merz, Ludwig,

Optik, besonders für Augenärzte

München 1845

Math.a. 165 n
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10081818-2